



**Bachelorarbeit des Studiengangs
Augenoptik/Augenoptik und Hörakustik**

**Vergleich des Freiburg Visual Acuity Test (FrACT)
mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln**

Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie
untersucherseitigen subjektiven Einschätzung

vorgelegt von: Isabel Schöllhorn
Studiengang: Augenoptik/Augenoptik und Hörakustik
Matrikelnummer: 33941
Erstgutachter: Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer
Zweitgutachter: Prof. Dr. Annemarie Buser
eingereicht am: 03.11.2014

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehenden Ausführungen meiner Arbeit sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

Zunächst bedanke ich mich bei den Studenten der Hochschule Aalen, die an der Studie teilgenommen haben.

Außerordentlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. U. Schiefer für die Überlassung des Themas. Auch möchte ich mich für seine geduldige Betreuung, seine große Unterstützung während der Bearbeitungszeit und die vielen hilfreichen Diskussionen und Anregungen bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herr M. Müller und Frau Prof. Dr. A. Buser für die konstruktive Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Auch möchte ich mich herzlich bei Frau C. Kraus bedanken. Durch Ihre stete Hilfsbereitschaft und jederzeit offene Tür half sie sehr zum Gelingen der Bachelorarbeit.

Für die gute Zusammenarbeit bei der Durchführung der Messungen danke ich Jacqueline Mann. Die schöne Atmosphäre und das tolle Arbeitsklima werden mir in guter Erinnerung bleiben.

Meiner Familie danke ich herzlich für die uneingeschränkte Unterstützung während meines ganzen Studiums.

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	I
Danksagung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Formelzeichen	VII
Abkürzungen	VIII
Zusammenfassung	1
Abstract	3
1 Einleitung	5
1.1 Normen zur Sehschärfeprüfung	5
1.2 Problemstellung und Motivation der Studiendurchführung	6
1.3 Zielsetzung	9
2 Material und Methoden	9
2.1 Probanden	10
2.2 Verwendete Komponenten	12
2.2.1 Geräte zur Messung der Untersuchungsbedingungen und Testdauer ...	12
2.2.2 Sehzeichenmonitor	13
2.2.3 Freiburger Visustest (FrACT)	13
2.2.4 Beleuchtungsbox (Lichtkasten)	18
2.2.5 ETDRS-Sehzeichentafeln	18
2.2.6 Tübingen Landolt Chart	20
2.3 Versuchsaufbau	22
2.3.1 Beleuchtung	22
2.3.2 Prüfdistanzen	23
2.3.3 Voreinstellung und Versuchsaufbau FrACT	24
2.4 Testablauf	25
2.4.1 Voruntersuchung	26
2.4.2 Untersuchtes Auge und Testreihenfolge	28

2.4.3	Allgemeine Einweisung vor den Testdurchgängen.....	28
2.4.4	Freiburger Visustest (FrACT)	29
2.4.5	ETDRS-Tafeln	29
2.4.6	Tübingen Landolt Chart.....	30
2.4.7	Visuelle Analogskala (VAS).....	30
2.4.8	Dokumentation	31
2.5	Statistische Analyse	31
3	Ergebnisse	33
3.1	Subjektive Bewertung der Sehtests durch Probanden und Untersucher	33
3.1.1	Vergleich der subjektiven Bewertung des FrACT _k und FrACT _h	34
3.1.2	Vergleich der subjektiven Bewertung aller durchgeführten Tests zur Sehschärfebestimmung.....	37
3.2	Analyse der Testdauer	43
3.2.1	Vergleich der absoluten Testdauern der Sehtests.....	43
3.2.2	Vergleich der Dauer der Testmethoden pro Sehzeichen.....	47
3.2.3	Reliabilität der Sehtestmethoden unter Betrachtung der absoluten Testdauern	50
3.2.4	Reliabilität der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype	52
4	Diskussion	56
4.1	Auswertung der subjektiven Bewertungen	56
4.1.1	Beurteilung von FrACT _k und FrACT _h	56
4.1.2	Vergleich der subjektiven Bewertungen aller Sehtestmethoden.....	57
4.1.3	Mögliche Testbewertungen durch den Untersucher	58
4.1.4	Anmerkungen zur Verwendung von VAS	59
4.2	Beurteilung der Testdauer.....	59
4.2.1	Übereinstimmung der Testzeiten.....	60
4.2.2	Test-Retest Reliabilität der Testdauern	63
5	Ausblick	65
6	Schlussfolgerung der Arbeit.....	66

Literaturverzeichnis	68
Abbildungsverzeichnis	72
Tabellenverzeichnis	74
Anhang	76
A Synopsis	76
B Aufgabenverteilung	78
C Notwendige Unterlagen zur Studienteilnahme	79
C.1 Einwilligungserklärung zum Datenschutz	79
C.2 Einwilligungserklärung zur Durchführung der Versuche	81
C.3 Probandenaufklärung	82
D Dokumentationsbögen der Voruntersuchung	86
D.1 Anamnesebogen	86
D.2 Augenbefund	90
D.3 Probandenkriterien	93
E Randomisierungsliste	94
F Dokumentationsbögen der Visustest-Ergebnisse	95
F.1 Bogen Ergebnisse Testdauer und subjektive Bewertungen	95
F.2 ETDRS-Tafeln	99
F.3 Tübingen Landolt Chart	102
G Prüfung auf Normalverteilung	103
G.1 Stichproben der Akzeptanz der Sehtestmethoden	103
G.2 Stichproben der absoluten Testdauer	106
G.3 Stichproben der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype	108
H Numerische Ergebnisse	109
H.1 Beurteilung der Sehtestmethoden	109
H.2 Absolute Testdauer der verwendeten Sehtests	111
H.3 Durchschnittliche Testdauer pro Optotype	112
H.4 Test-Retest Reliabilität der absoluten Testdauer	113
H.5 Test-Retest Reliabilität der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype	113

I	Boxplots zur durchschnittlichen Antwortzeit auf die verschiedenen Antwortkategorien	114
---	-------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Formelzeichen

Zeichen	Bedeutung
---------	-----------

d	durchschnittliche Differenz
H_0	Nullhypothese
H_1	Alternativhypothese
n	Anzahl
p	Signifikanzwert
\bar{x}	Mittelwert

Abkürzungen

Zeichen	Bedeutung
Abb.	Abbildung
AVAS	Adaptive Visual Analog Scale
Best PEST	Best Parameter Estimation by Sequential Testing
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
ISO	International Organization for Standardization
ETDRS	Early Treatment Diabetic Retinopathy Study
EN	Europäische Norm
FrACT	Freiburg Visual Acuity Test
FrACT _k	Freiburg Visual Acuity Test keypad (Zahlentastatur)
FrACT _h	Freiburg Visual Acuity Test haptic (fühl- und drehbarer Landoltring)
logMAR	Logarithm of the Minimal Angle of Resolution
m	Meter
MAR	Minimal Angle of Resolution
min	Minute
mm	Millimeter
s.	siehe
VA	Visual Acuity
VAS	Visuelle Analogskala
WMA	World Medical Association

Zusammenfassung

Hintergrund: Die Sehschärfebestimmung ist die am häufigsten geprüfte Sehfunktion. Landoltringe und Buchstaben werden oftmals als Sehzeichen zur Sehschärfebestimmung verwendet. In dieser Studie werden vier Sehtestmethoden miteinander verglichen, welche derartige Optotypen darbieten: Der Freiburg Visual Acuity Test (FrACT), unter Verwendung eines Nummernblocks (FrACT_k), bzw. eines rotierbaren, haptischen Landoltrings (FrACT_h) als Eingabegeräte, die Tübingen Landolt Chart, auf welcher Landoltringe nach den Vorgaben der ISO 8596 sowie DIN 58220 Teil 3 dargeboten werden und ETDRS-Sehzeichentafeln. Ziele der Studie waren es (i) den Unterschied zwischen der subjektiven Bewertung der Testmethoden durch Probanden selbst, sowie die Beurteilung des Zurechtkommens der einzelnen Versuchspersonen durch den Untersucher, unter Verwendung von visuellen Analogskalen (VAS) herauszufinden und hinsichtlich der Testdauer (ii) die Ermittlung der Inter-Test Reliabilität zwischen den Methoden und (iii) deren Test-Retest Reliabilität zu vergleichen. Es wird besonders auf die Untersuchungsergebnisse von FrACT_k und FrACT_h eingegangen.

Probanden und Methodik: Für die explorative Studie wurden 24 augengesunde, erwachsene Studenten der Hochschule Aalen (davon 14 männlich und 10 weiblich) mit einer Sehschärfe von $\geq 0,2$ (4/20) als Probanden untersucht. Sämtliche Studierende verschiedener Fachrichtungen waren mit den Methoden der Visusbestimmung bislang nicht vertraut. Dabei wurde nach Zufallsprinzip die monokulare Sehschärfe des Führungs- oder nicht führenden Auges bestimmt. Die vier Testmethoden wurden jeweils zweimal in einer kontrollierten, randomisierten Reihenfolge, welche vor Studienbeginn in einer Permutationskette festgelegt wurde und unter Gebrauch der Forced-Choice-Strategie durchgeführt.

Ergebnisse: *Subjektive Einschätzung:* FrACT_k wurde von Probanden und Untersuchern gegenüber FrACT_h präferiert ($p < 0,001$). Der ETDRS-Test und FrACT_k wurden gegenüber den Landolt-Tafeln und FrACT_h bevorzugt. *Testdauer:* Die Durchführung des FrACT_h dauerte durchschnittlich 1,5-mal länger als FrACT_k ($p < 0,001$). FrACT_k und ETDRS-Test waren am schnellsten

durchführbar mit einem Median im ersten Testdurchgang von 48,2 und 48,7 Sekunden ($p>0,05$). FrACT_h und der Landoltringtafel-Test nahmen 68,2 Sekunden und 96,1 Sekunden in Anspruch (Median erster Testdurchgang, $p>0,05$). Alle Sehtests, welche als Optotype den Landoltring verwendeten, wiesen einen signifikant schnelleren zweiten Testdurchgang auf ($p<0,05$). Die zwei Testdurchgänge des ETDRS-Tests dauerten nahezu gleich lang ($p>0,05$).

Schlussfolgerung: Die Durchführung des FrACT ging mit dem Nummernblock schneller als mit dem haptischen Eingabegerät und wurde von den Probanden und Untersuchern bevorzugt. ETDRS-Tests und FrACT_k waren hinsichtlich der absoluten Testzeiten kürzer als die Ausführung des FrACT_h und des Landoltringtafel-Tests. Die schnellsten Tests wurden auch von Probanden und Untersuchern am besten bewertet.

Schlüsselwörter: Visus · FrACT · ETDRS-Tafeln · Landoltring · Akzeptanz · Visuelle Analogskala · Dauer · Inter-Test Reliabilität · Test-Retest Reliabilität

Abstract

Background: The assessment of visual acuity is the most frequently tested visual function. Landolt Cs and letters are commonly used optotypes. This exploratory study compares four different types: The Freiburg visual acuity test (FrACT) using a keypad (FrACT_k), a rotating, haptic Landolt device (FrACT_h), the Tübingen Landolt Chart, which is constructed and presented in accordance to ISO 8596 and DIN 58220 part 3 with eight-position Landolt Cs and ETDRS charts. The aims of the study were to determine (i) the difference of examinee's/examiner's subjective ratings between the methods using visual analogue scales (VAS) and concerning the test duration to ascertain (ii) the inter-test agreement between the tests and (iii) the test-retest reliability of them. The primary objectives aim at the results of FrACT_h and FrACT_k.

Subjects and Methods: Twenty-four adult Aalen University students with normal ophthalmologic status and a visual acuity of ≥ 0.2 (4/20) and no experience with regard to visual function testing were included in this explorative study. The visual acuity of one eye was measured monocularly and was randomized with regard to the leading/non-leading eye. The subjects passed each visual acuity test twice in a randomized sequence each, which was maintained by a pre-specified randomization list.

Results: *Subjective ratings:* The examinee's/examiner's gave preference to FrACT_k over FrACT_h ($p < 0.001$). The ETDRS-test and FrACT_k were favoured to Landolt-C-test and FrACT_h. *Test duration:* On average, FrACT_h took 1.5 times longer than FrACT_k ($p < 0.001$). The fastest tests were FrACT_k and the ETDRS-test with a median of 48.1 and 48.7 seconds in the first test run ($p > 0.05$). FrACT_h and the Landolt-C-test took 68.2 and 96.1 seconds (Median first test run, $p > 0.05$). All visual acuity tests that used Landolt-Cs as optotypes had a significant faster second test run ($p < 0.05$). The duration of the two test runs of the ETDRS-test was nearly similar ($p > 0.05$).

Conclusion: FrACT_k delivered shorter test times than FrACT_h and was preferred by the subjects and investigators. The implementation of the ETDRS-test and FrACT_k lasted shorter than FrACT_h and the Landolt-C-test in regard to the

absolut length of time. The fastest tests were also evaluated better by the subjects and investigators.

Keywords: Visual acuity · FrACT · Landolt C · ETDRS-charts · Acceptance · Visual Analogue Scale · Duration · Inter-test reliability · Test-retest reliability

1 Einleitung

In DIN 5340 (Beuth Verlag, 1998) wird die Sehschärfe gleichbedeutend wie der Visus als „Schwellenwert der Fähigkeit, feine Details eines Objektes wahrzunehmen, deren Erkennbarkeit vom Sehwinkel abhängt“ (DIN 5340, Beuth Verlag, 1998), definiert. Sehschärfeprüfung spielt heutzutage nicht nur eine wichtige Rolle für gutachterliche Zwecke, wie Fahrtauglichkeitsbegutachtung oder Renten- und Versicherungsbegutachtung, sondern auch bei der subjektiven/objektiven Refraktion und bei der Durchführung von wissenschaftlichen Studien (Lachenmayr et al., 1999). Bei der subjektiven Sehschärfebestimmung werden nicht immer die gleichen Optotypen verwendet. Auch gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Darbietung der Sehzeichen, wie zum Beispiel mit einem Monitor, einem Projektor oder einer Sehprobentafel.

1.1 Normen zur Sehschärfeprüfung

Für die Durchführung der Sehschärfeprüfung gilt die deutsche Norm DIN 58220 (Beuth Verlag, 2009) und die deutsche Fassung der internationalen Norm ISO 8596:2009 (Beuth Verlag, 2009). Beide Normen stehen in engem Zusammenhang zueinander. Die DIN 58220 legt die Bedingungen für Sehschärfebestimmungen fest. Sie besteht aus Vorschriften zur Prüfung für Gutachten (Teil 3), zum allgemeinen Sehtest (Teil 5), zum straßenverkehrsbezogenen Sehtest (Teil 6) und zum mesopischen Kontrastsehen, ohne und mit Blendung, für straßenverkehrsbezogene Testung (DIN 58220-3, Beuth Verlag, 2009). Bei der Prüfung für Gutachten, gelten die Regelungen der DIN EN ISO 8596. Die DIN EN ISO 8596 beschreibt das Normsehzeichen und seine Darbietung. Der Landoltring ist das Normsehzeichen. Die internationale Norm legt fest, dass dieser in 8 verschiedenen Orientierungen, nämlich 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° und 315°, dargeboten werden muss. Wird ein Satz von 5 Landoltringen dargeboten, muss die Position der Lücke 3-mal horizontal oder vertikal sein und 2-mal schräg. Bei der Darbietung von einem Satz von 8-10 Normsehzeichen müssen 50 % der Orientierungen der Lücke entweder horizontal oder vertikal sein und 50 % schräg. Die Liniendicke und die Breite der Lücke entsprechen einem Fünftel des Durchmessers. Die

Sehschärfewerte sind logarithmisch gestuft. Das heißt, dass der Quotient der Größe eines Sehzeichens und des nächst kleineren $\sqrt[10]{10} = 1,2589$ beträgt. Bezüglich des Prüffeldes, muss der Abstand mindestens $0,5^\circ$ in allen Richtungen zwischen den Kanten der Optotypen und dem Rand des Prüffeldes betragen. Der Abstand zwischen den Kanten der Normsehzeichen ist abhängig von der Visusstufe. Von 0,16 bis 0,32 beträgt der Mindestabstand dem 1,5 fachen Durchmesser des Landoltringes, von 0,4 bis 1,0 dem 2 fachen Durchmesser und über 1,0 dem 3 fachen Durchmesser des Landoltringes. (DIN EN ISO 8596, Beuth Verlag, 2009). Beim allgemeinen Sehtest dürfen nach DIN 58220 (Teil 5) neben dem Normsehzeichen auch andere Optotypen benutzt werden. Voraussetzung ist, dass die gleichen Sehschärfewerte wie mit dem Landoltring erzielt werden und die Untersuchungsergebnisse in einer wissenschaftlich anerkannten Fachzeitschrift veröffentlicht wurden (DIN 58220-5, Beuth Verlag, 2013). Das Minimum der korrekt benannten Zeichen pro Visusstufe, auch Abbruchkriterium genannt, liegt bei 60 % der Gesamtzahl. Mit dem Wort "benannt", wird zum Ausdruck gebracht, dass auch wenn das Sehzeichen nicht sicher erkannt wird, raten erwünscht ist und richtig raten statistisch berücksichtigt wird (Wesemann et al., 2010). Das heißt, dass 3 von 5 oder 5 von 8 oder 6 von 10 Landoltringen korrekt benannt werden müssen. Der Abstand zwischen der Eintrittspupille der Prüfperson und dem Sehzeichen soll bei einem Visus $\geq 0,2$ (4/20) mindestens 4 m betragen. Der allgemeine Bereich der Leuchtdichte hat zwischen 80 und 320 cd/m^2 zu liegen (DIN EN ISO 8596, Beuth Verlag, 2009).

1.2 Problemstellung und Motivation der Studiendurchführung

1861 wurde durch den niederländischen Augenarzt Hermann Snellen die erste Buchstabentafel entwickelt. Snellen und Landolt stellten in einer Arbeit, welche sie zusammen durchführten fest, dass sich nicht alle Buchstaben auf den Snellentafeln gleich leicht erkennen lassen. Daraufhin stellte Landolt 1888 den Landoltring vor (Stelzer, 2014). Dieser wird vor allem angewendet, wenn Werte für die Sehschärfe, jederzeit auch für Dritte nachvollziehbar sein sollen, zum Beispiel für gutachterliche Zwecke, wie in Abschnitt 1.1 beschrieben. Zur Refraktionsbestimmung werden hingegen meist Buchstaben und

Ziffern benutzt, um eine bessere Verständigung mit dem Kunden zu erreichen (Diepes, 2004). Des Weiteren ist beim Verwenden von Landoltringen ein höherer Erklärungsbedarf von Nöten und die Richtungen werden häufig verwechselt (Rassow et al., 1998). Vor allem in den USA wird bei klinischen Studien oftmals die Sehschärfeprüfung mit ETDRS-Tafeln durchgeführt. Viele englischsprachige Fachzeitschriften verlangen sogar die Durchführung der Sehschärfeprüfung mit ETDRS-Tafeln bei klinischen Studien. 2008 wurde auf der Sitzung der internationalen Normgremien ISO und CEN in Paris die Norm DIN EN ISO 8597 abgeschafft. Dies hat zur Folge, dass die ETDRS-Tafeln für gutachterliche Untersuchungen nicht mehr erlaubt sind (Wesemann et al., 2010).

Oftmals werden Tests zur Sehschärfebestimmung lediglich nach den Visusergebnissen miteinander verglichen, doch spielen andere Parameter in der Praxis auch eine wichtige Rolle, wie zum Beispiel die Testdauer. Da es vor allem im klinischen Bereich um eine möglichst schnelle und genaue Sehschärfebestimmung geht, wurde die Testdauer aller Messungen und der Wiederholungen bestimmt. Nach DIN 58220 gibt es keine Vorgaben bezüglich des zeitlichen Ablaufes der Sehschärfeprüfung. Die Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft (2014) gibt z.B. im Rahmen der Fahrtauglichkeitsprüfung an, dass es wünschenswert wäre, wenn der Landoltring innerhalb einer Sekunde erkannt werden sollte, da Patienten mit Nystagmus bei verlängerter Darbietung eine relativ zugute Sehschärfe erzielen würden (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, 2014). Mittelveifhaus et al. (1993) haben die Testdauer zwischen dem Freiburger Visustest mit 4 möglichen Stellungen, eingegeben durch Tasten und Landoltringen mit 8 möglichen Orientierungen, entsprechend der DIN 58220 am Sehzeichenprojektor dargestellt und verglichen. Dabei dauerte die Durchführung des DIN konformen Verfahrens etwa doppelt so lang (Mittelveifhaus et al., 1993). Auch Lange et al. (2009) beschäftigten sich mit der Testdauer des FrACT. Allerdings waren lediglich Probanden mit sehr geringer Sehschärfe in die Studie eingeschlossen. Lange et al. (2009) wie auch Heinrich et al. (2011) untersuchten den Lerneffekt bei der Wiederholung eines Testverfahrens entsprechend dem FrACT. Heinrich et

al. gaben Testzeiten von 3-5 min bei der Darbietung von 50 Landoltringen in 8 möglichen Orientierungen an (Heinrich et al., 2011; Lange et al., 2009).

Nicht nur bei der Verwendung von Landoltringen gibt es computerbasierte Verfahren. Die unterschiedlichen Testdauern von ETDRS-Tafeln und einem elektronisch durchgeführten Verfahren wurden durch Laidlaw et al. (2008) an Erwachsenen und amblyopen Kindern verglichen. Dabei lag der Median der Testdauern der ETDRS-Tafeln von Erwachsenen bei 56 s (Laidlaw, D A H et al., 2008). Des Weiteren wurde getestet, ob durch eine Reduktion der Buchstabenanzahl der Testtafeln gleiche Ergebnisse bei kürzerer Testdauer erreicht werden können. Rosser et al. (2001) verglich dabei ETDRS-Tafeln, Snellen-Tafeln und Sehprobentafeln mit reduzierter Buchstabenanzahl. Hinsichtlich der Testdauer, dauerten ETDRS-Tafeln und Snellen-Tafeln doppelt so lang wie die reduzierte Variante des ETDRS-Tests (Rosser et al., 2001). Der projizierte Landoltringtest dauerte bei Augengesunden bei Koenig et al. (2014) 1,5-mal länger als die Durchführung des ETDRS-Tests (Koenig et al., 2014).

Neben der Testdauer wurde von Koenig et al. (2014) mit Hilfe von visuellen Analogskalen die Testverfahren durch Untersucher und Testpersonen bewertet. Ein weiterer Grund für die Durchführung der Studie war herauszufinden, welche Testmethode von Proband und Untersucher bevorzugt wird. In der Studie von Koenig et al. (2014), wurde ein leichtes Bevorzugen von ETDRS-Tafeln gegenüber dem Landolt C festgestellt (Koenig et al., 2014). Ein wichtiger Grund für die Durchführung meiner Studie war somit herauszufinden, ob die Anwendung von ETDRS-Tafeln Zeitersparnis mit sich bringt und ihre Anwendung gegenüber Landolt-Tafeln und dem FrACT bevorzugt werden.

Oftmals ist es schwierig für die Probanden aufgrund der Rechts-/Links-Problematik die richtige Position der Öffnung des Landoltringes zu kommunizieren. Darum wurden mit verschiedenen Methoden, wie das Zeigen der Öffnung mit der Hand oder mit einem auf Papier gedruckten Landoltring Abhilfe geschaffen. Um diese Methoden durchzuführen, bedarf es eines Untersuchers, welcher die Korrektheit der Antworten überprüft. In dieser

Studie wurde ein haptischer Landoltring und ein Nummernblock mit aufgeklebten Landoltringen als Eingabemethoden verwendet. Diese können nur mit einem computerbasierenden Verfahren verwendet werden. Die erste Version des in der Studie verwendeten Verfahrens Freiburger Visustest (FrACT) wurde 1985 programmiert (Bach, A brief history of FrACT). Der haptische Landoltring (FrACT_h) wurde entwickelt, um die Kommunikation zwischen Proband und Untersucher zu erleichtern, da diese Eingabemethode unabhängig von sprachlichen Rückmeldungen ist. Des Weiteren sollte ein Verfahren entwickelt werden, welches im Dunkeln angewendet werden kann und eine Bedienung durch Kinder und geistig beeinträchtigte Personen, ermöglicht. Um der nötigen Drehbewegung, welche für die Bedienung des haptischen Landoltringes nötig ist, aus dem Weg zu gehen, wurden auf einen Nummernblock, Landoltringe mit den jeweiligen Öffnungspositionen (FrACT_k) geklebt. Zum haptischen Eingabegerät wurden noch keine Studienergebnisse veröffentlicht. Bis jetzt wurde noch nicht untersucht, ob Proband und Untersucher FrACT_k und FrACT_h gleich gut bewerten, ob die Anwendung gleich lang dauert und ob ein Lerneffekt bei wiederholter Durchführung, d.h. eine signifikante Reduktion der Testdauer, auftritt.

1.3 Zielsetzung

Ziele der Studie waren es (i) den Unterschied zwischen der subjektiven Bewertung der Testmethoden durch Probanden selbst, sowie die Beurteilung des Zurechtkommens der einzelnen Versuchspersonen durch den Untersucher, unter Verwendung von visuellen Analogskalen (VAS) zu ermitteln und hinsichtlich der Testdauer (ii) die Ermittlung der Inter-Test Reliabilität zwischen den Methoden und (iii) deren Test-Retest Reliabilität zu vergleichen. Auf die Messergebnisse von FrACT_k und FrACT_h wird in dieser Arbeit besonders eingegangen.

2 Material und Methoden

Im folgenden Abschnitt wird genauer auf die Versuchspersonen, das heißt auf die Anzahl, Alter, Geschlechterverteilung, Ein-Ausschlusskriterien, Führungsauge und auf das für die Messung relevante Auge eingegangen. Des

Weiteren werden die Geräte, von welchen in der Studie Gebrauch gemacht worden sind, der Versuchsaufbau, der Testablauf und die statistische Auswertung beschrieben.

2.1 Probanden

Für die Pilotstudie wurden 25 Probanden (davon 14 männlich und 11 weiblich) untersucht. Für die Studienergebnisse sind 24 Probanden (davon 14 männlich und 10 weiblich) relevant, da auf eine Testperson ein Ausschlusskriterium zutraf. Alle Probanden waren Studenten der Hochschule Aalen, welche keine Augenoptikausbildung absolviert haben oder nicht Augenoptik im 2. - 7. Semester studierten.

Die Einschlusskriterien zur Teilnahme waren, dass die Testpersonen ≥ 18 Jahre alt sein mussten und unterzeichnete Einwilligungserklärungen vorzuliegen hatten (s. Appendix C, S. 79 ff.). Des Weiteren wurden lediglich Probanden in die Studie eingeschlossen, deren Fernvisus mindestens 0,2 (4/20) war. Dieser wurde mit Zahlen in einem Beobachtungsabstand von 5,70 m an der Visucat (VISUCAT argus individuell optic GmbH, Putzbrunn/Deutschland) bestimmt. Wurde der Mindestvisus erreicht, wurden die Messungen bevorzugt ohne Korrektur durchgeführt, damit möglichst viele Visusstufen vertreten waren. Teilnehmen durften Probanden mit sphärischen Ametropien zwischen -2,00 dpt und +5,50 dpt und maximalen Astigmatismen von 0 dpt bis 2,50 dpt.

Die Teilnahme war ausgeschlossen, wenn bei der Testperson Epilepsie oder psychische Erkrankungen vorlagen, ebenfalls wenn der Proband Medikamente eingenommen hat, welche die Reaktionszeit und/oder die Sehschärfebestimmung bzw. die Brechkraft des Auges beeinflussen. Ophthalmologisch war eine Teilnahme nicht möglich, wenn der Proband amblyop war, ein Schielen, Glaukom, Nystagmus, diabetische Retinopathie, Sicca-Symptomatik, ausgeprägte Augenverletzungen, Makulaerkrankungen, Albinismus oder andere Augenerkrankungen vorlagen, welche die Abbildungsqualität beeinflussen. Weitere Ausschlusskriterien waren Augen-/Netzhautoperationen, die weniger als 3 Monate zurücklagen, infektiöse

Erkrankungen wie Bindehautentzündung, Hornhautentzündung oder Aderhautentzündung und die Einnahme pupillenverengender Medikamente sowie ein erhöhter Augeninnendruck (>21 mmHg).

Das Histogramm in Abbildung 1 veranschaulicht die Altersverteilung der Probanden. Der Mittelwert des Alters von 22 Probanden lag bei 21,8 Jahren \pm einer Standardabweichung von 2,5 Jahren. Von zwei Probanden wurde das Alter versehentlich nicht erfasst. Bei dem nach Zufallsprinzip bestimmten untersuchten Auge, handelte es sich 10-mal um das Führungsauge und 13-mal um das nicht führende Auge. Bei einem Probanden war keine Dominanz zu erkennen. Die gemessenen Sehschärfewerte der Messaugen am VISUCAT (mit Zahlen) werden in Abbildung 2 in logMAR visualisiert. Anhand des Boxplots ist zu erkennen, dass nicht wie gewünscht die Sehschärfen der Probanden möglichst gleichmäßig im gesamten Messbereich von 0,2 bis 2,0 verteilt waren, sondern häufiger Probanden in hohen Visusstufen gemessen wurden. Es wurden alle Messungen ohne Korrektur durchgeführt.

Die Studie wurde nach den festgelegten Grundlagen der Deklaration von Helsinki (WMA, 1964) konzipiert und durch die Ethikkommission der Landesärztekammer Baden-Württemberg genehmigt (WMA, 1964).

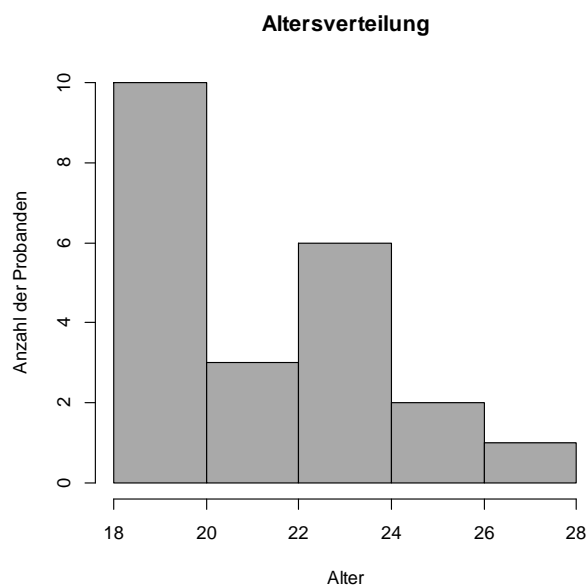


Abbildung 1: *Altersverteilung der Probanden in Jahren.* Auf der Abszisse ist das Alter in Jahren aufgetragen. Die Ordinate zeigt Anzahl der Probanden an,

welche sich innerhalb der von der Abszisse angezeigten Altersgrenzen befinden.

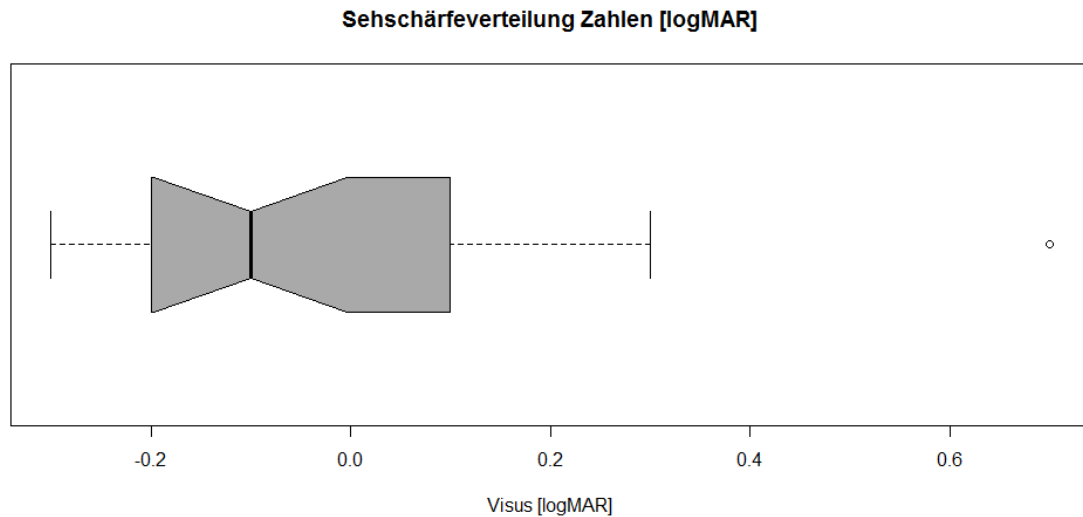


Abbildung 2: *Boxplot der mit Zahlen gemessene Sehschärfe [logMAR].* In Abb.15 (S. 39 f.) ist der allgemeine Aufbau der in dieser wissenschaftlichen Arbeit dargestellten Boxplots beschrieben.

2.2 Verwendete Komponenten

Das folgende Kapitel handelt von den Geräten, welche für die Studie benutzt wurden. Zunächst werden die Instrumente zur Messung der Beleuchtungsverhältnisse in den Messräumen und der Testdauer aufgeführt und im Anschluss wird auf die einzelnen Geräte zur Durchführung der Testverfahren und die verwendeten Optotypen eingegangen.

2.2.1 Geräte zur Messung der Untersuchungsbedingungen und Testdauer

Alle für die Messungen notwendigen Abstände wurden mit dem Laser Rangefinder (GLM 80, Professional, Bosch GmbH, Stuttgart/Deutschland) gemessen. Um die Leuchtdichten zu bestimmen kam ein Leuchtdichtemessgerät zum Einsatz (IS-110 Laptop Minolta, Tokyo/Japan). Die Beleuchtungsstärke wurde mit einem digitalen Luxmeter gemessen (Peak Tech 5025, Peak Tech Prüf- und Messtechnik GmbH Ahrens-

burg/Deutschland). Die Dauer der einzelnen Testdurchläufe wurde mit einer Stoppuhr (Apple iPhone 4S, Cupertino CA/USA) bestimmt. Beim FrACT wurde die Zeit zusätzlich automatisch gemessen.

2.2.2 Sehzeichenmonitor

Vom Sehprüfgerät argus VISUCAT (VISUCAT, argus individuell optic GmbH, Putzbrunn/Deutschland) kamen Zahlen als Optotypen zum Einsatz (s. Abbildung 3).

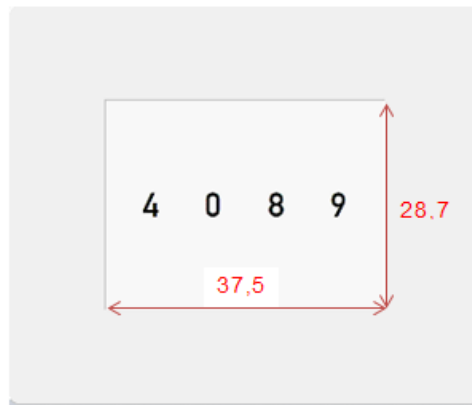


Abbildung 3: VISUCAT-Monitor mit Bemaßung [cm] (IBK Systeme GmbH)

2.2.3 Freiburger Visustest (FrACT)

Für die Studie wurde der FrACT in der Internet Version 3.8.1 verwendet. Es handelt sich dabei um ein von Bach entwickeltes computergestütztes Verfahren zur Bestimmung der Sehschärfe. Das Programm kann kostenfrei heruntergeladen werden.

Es kann zwischen Landoltringen, E-Haken und Buchstaben als Optotypen gewählt werden. Neben der Sehschärfe ist es möglich, die Kontrastempfindlichkeit unter Verwendung von Michelson- und Weberkontrast zu bestimmen. Auch kann die Gittersehschärfe ermittelt werden. Es kann zwischen der 18, 24 oder 48 Darbietungen gewählt werden. Der Landoltring kann in 4 oder 8 Orientierungen dargeboten werden, was eine Ratewahrscheinlichkeit von 25 % oder 12,5 % ergibt. Der E-Haken kann in 4 verschiedenen Orientierungen dargeboten werden. Als Buchstaben werden entsprechend der Sloan-Buchstaben C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z dargeboten. Für die Lokalisations-

sehschärfe (Hyperacuity) gibt es zwei Antwortmöglichkeiten. Je größer die Ratewahrscheinlichkeit, desto mehr Darbietungen müssen vorgenommen werden, um ein gutes Ergebnis zu erzielen. Die Darbietungszahl ist ein Vielfaches von 6. Zur Steigerung der Motivation des Probanden, stellt jede 6. Präsentation ein Bonus dar. Beginnend bei der 12. Darbietung ist das Sehzeichen 3-mal so groß wie der erwartete Wert. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit die Darbietung dieses Motivationsringes zu deaktivieren. Was die Testdauer angeht, kann der Untersucher die Präsentationsdauer (0,1 bis 999 Sekunden) und die Zeit bis eine neue Optotype dargeboten wird und die Antwort als falsch gewertet wird (1 bis 999 Sekunden) einstellen. Zusätzlich sind weitere Einstellungen hinsichtlich der Position, des Kontrasts und der Farbe der Optotype möglich und auch der Farbe des Hintergrundes. Oben links auf dem Monitor steht die Anzahl der Darbietungen, die bis zum Zeitpunkt erfolgt sind und die Gesamtanzahl. Es können zwei verschiedene Arten von Feedback eingestellt werden: Visuelles und/oder auditorisches Feedback und wann es erfolgen soll, das heißt, ob bei korrekter und/oder falscher Antwort. Es besteht des Weiteren die Möglichkeit, die Ergebnisse zu speichern (Bach, Freiburg Vision Test – Manual).

Der Freiburger Visustest zeigt nur eine Optotype auf dem Bildschirm. Auch werden nicht 5 Sehzeichen derselben Größe präsentiert. Das bedeutet, dass der Freiburger Visustest das Schwellenkriterium der DIN 58220, dass 3 von 5 Optotypen erkannt werden müssen, nicht erfüllt. Die Darbietungsgröße entspricht nicht der von DIN 58220 vorgeschriebenen Abstufung von $\sqrt[10]{10}$. Zur Bestimmung der Größe der einzeln präsentierten Ringe, wird nämlich eine Stufenstrategie (Staircase-Methode) verwendet. Dieses Verfahren wird als „Best PEST“ bezeichnet (PEST = parameter estimation by sequential testing) (Lieberman & Pentland, 1982). Voraussetzung für die Durchführung ist das Vorliegen einer psychometrischen Funktion konstanter Steigung auf einer Visusskala, welche logarithmisch skaliert ist. Dabei wird ein Algorithmus berechnet, um die psychometrische Schwelle ermitteln zu können (Bach, 1995). Die Größe des nächsten dargebotenen Sehzeichens entspricht der erwarteten Sehschärfe, welche aus den bisherigen Antworten gründet. Je mehr Optotypen dargeboten werden, desto kleiner werden die

Eingabelungsschritte (Mittelveifhaus et al., 1993). Ziel des Verfahrens ist, so schnell und genau wie möglich die Reizwahrnehmungsschwelle zu ermitteln (Lieberman & Pentland, 1982).

Damit auch auf einem normalen Computermonitor eine hohe Auflösung erreicht werden kann, mit welcher Landoltringe in schräger Positionen und bei hohen Visuswerten dargestellt werden können, wird ein als „Anti-Aliasing“ bezeichnetes Verfahren verwendet. Grund ist, dass die runde Form der Ringe nicht zur eckigen Struktur der Pixel passt. Dies führt zu sogenannten „Treppenartefakten“ (s. Abbildung 4, Mitte). Darum werden die Ecken durch zusätzliche Grauwerte geglättet (s. Abbildung 4, rechts). Nach Bach (1995) sind dazu 16 Graustufen nötig, da bei der Verwendung von 256 Graustufen keine weitere Verbesserung hinsichtlich der Auflösung erreicht werden kann. Die zu geringe Ortsauflösung wird somit durch Helligkeitsauflösung ausgeglichen und die Auflösung des Bildschirms um Faktor 4 gesteigert (Bach, 1995). Damit können Landoltringe in 0,25 Pixelschritten dargestellt werden. Die entstandene Unschärfe wird aufgrund der Tiefpassfilterung des Auges nicht wahrgenommen (Bach, 1997).

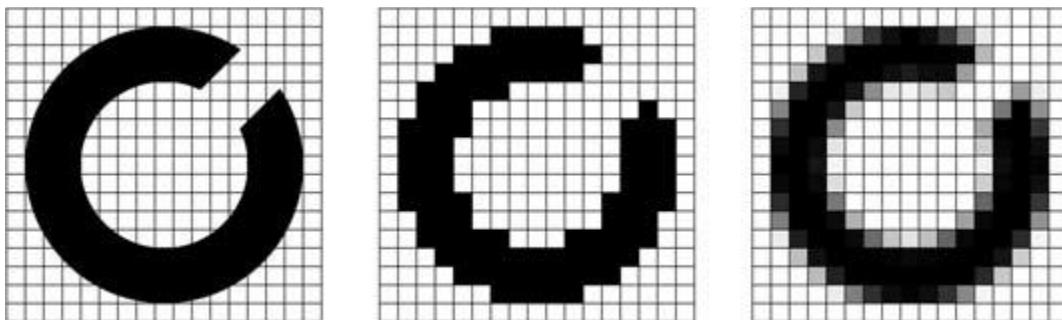


Abbildung 4: Landoltring mit 3 Pixeln Lückenbreite; links: Originalform; Mitte: Schwarz-Weiß-Darstellung am Monitor; rechts: Anti-Aliasing-Darstellung am Monitor (Jungnickel & Grein, 2008)

Neben Anti-Aliasing wird vom direkten Gegenteil "Dithering" Gebrauch gemacht. Dieses Verfahren wird vor allem bei der Kontrastprüffunktion verwendet, wenn geringere Kontraste dargestellt werden sollen, als der Monitor zulässt. Dabei wird das Sehzeichen nicht in einer einheitlichen Graustufe dargeboten, sondern in wechselnden Grauwerten. Der Wechsel der

Grauwerte ist am Bildschirm lediglich bei sehr naher Betrachtung ersichtlich (Bach, 1997; Jungnickel & Grein, 2008).

Zur Ausführung des FrACT wurde ein Laptop (TravelMate, Acer, 8372 Taipeh/China) verwendet. Es wurden in dieser Studie zwei verschiedene Eingabegeräte genutzt. Beide werden über USB mit dem Computer verbunden. Abbildung 5 zeigt einen Nummernblock. Statt Zahlen sind die Orientierungen der Öffnungen der Landoltringe abgebildet. Durch Drücken der entsprechenden Taste, wird die Position der Öffnung des auf dem Laptop gesehenen Landoltringes bestätigt. Das Eingabegerät wiegt 164 g und die Bemaßungen sind in Abbildung 5 dargestellt. Beim Drücken auf die 5 wird die Messung gestartet. Wird zweimal auf die 5 gedrückt, wird die Messung abgebrochen. Abbildung 6 zeigt den haptischen Landoltring. Dieser wiegt 370 g. Die Bemaßungen sind in Abbildung 6 ersichtlich. Auf dem Eingabegerät lässt sich der Landoltring entsprechend der Öffnungspositionen des Ringes auf dem Monitor drehen und rastet leicht in den 8 möglichen Positionen ein. Zur Bestätigung der Position muss eine der blauen Tasten gedrückt werden. Es ist dabei gleichgültig, welche der blauen Tasten gedrückt wird.



Abbildung 5: Nummernblock mit Bemaßung [cm] und FrACT am Monitor des Laptops

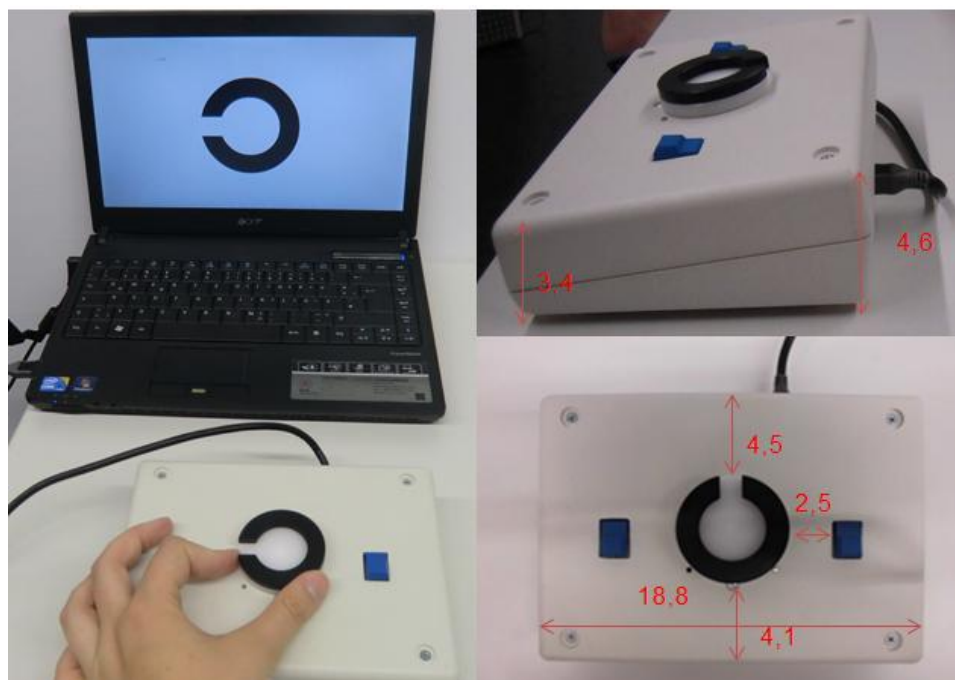


Abbildung 6: Haptisches Eingabegerät mit Bemaßung [cm] und FrACT am Monitor des Laptops

2.2.4 Beleuchtungsbox (Lichtkasten)

Die ETDRS- und Tübingen Landoltring-Charts wurden für die Testdurchführung in eine Beleuchtungsbox geschoben (s. Abbildung 7). Technische Voraussetzung sind, dass die Leuchtdichte der 2 eingesetzten Leuchtstoffröhren zwischen $80\text{-}320\text{ cd/m}^2$ liegen und die Leuchtstoffröhren jährlich getauscht werden müssen (Told et al., 2013).



Abbildung 7: *Beleuchtungsbox*

2.2.5 ETDRS-Sehzeichentafeln

Die ETDRS-Sehzeichentafeln wurden für die Early Treatment Diabetic Retinopathy Study entwickelt. Diese wurde vom National Eye Institute gefördert. Ziel der Studie war herauszufinden, ob Argon-Laser-Photokoagulation oder eine Behandlung mit Aspirin das Risiko zur Sehverschlechterung reduzieren oder das Fortschreiten früher proliferativer oder nicht-proliferativer diabetischer Retinopathie verlangsamen kann (ETDRS report number 7, 1991). Dazu gehörte eine Bestimmung der Sehschärfe durch ETDRS-Sehzeichentafeln (ETDRS report number 7, 1991).

Abbildung 8 zeigt die im Rahmen der Studie verwendeten ETDRS-Sehzeichentafeln (Revised 2000 Series ETDRS Charts 1, 2, 3) für eine Prüferntfernung von 4 m (Precision-Vision, La Salle/USA).

Die originalen ETDRS-Tafeln wurden basierend auf Empfehlungen von Ferris et al. (1982) gestaltet. Demnach bestehen die Tafeln aus Buchstabenreihen mit jeweils 5 Buchstaben. Der Abstand von benachbarten Buchstaben entspricht der jeweiligen Buchstabengröße, welche in der Reihe vorliegt. Der Abstand zwischen den Zeilen, entspricht der Buchstabengröße der nächstkleineren Zeile. Die Verkleinerung der Buchstaben von Zeile zu Zeile entspricht einem konstanten Faktor. Dieser beträgt pro Visusstufe 1,2589, was jeweils $\sqrt[10]{10} = 0,1$ log-Einheiten entspricht. Die Größe der Buchstaben reicht von 58,18 mm bei einem Visusstufe von 0,1 (4/40), bis zu 2,92 mm bei dem höchst prüfbar Visus von 2,0 (4/2). Es werden die 10 bereits in 2.2.3 genannten Sloan-Buchstaben C, D, H, K, N, O, R, S, V und Z verwendet. Da nicht jeder Buchstabe gleich einfach zu erkennen ist, wurde jedem Buchstabe ein Wert bezüglich der Schwierigkeit zugeordnet. Dieser entspricht der Anzahl der korrekt gegebenen Antworten an der Schwelle der Sehschärfe in Prozent. Die Buchstaben wurden in einer Zeile so angeordnet, dass die Summe der Schwierigkeitswerte der 5 Buchstaben in jeder Zeile sich um weniger als 1 % unterschieden und weder Wörter noch Akronyme gebildet werden können (Ferris et al., 1982).

Für diese Studie wurden nicht die Original-Tafeln verwendet, sondern zur Durchführung des ETDRS-Tests eine überarbeitete Version vom Jahr 2000. Der Unterschied liegt in der Buchstabenkombination (Precision-Vision, La Salle/USA). Die Tafeln sind 65 cm breit und 62,5 cm hoch. Sie wurden für die Studie in die von 2.2.4 beschriebene Beleuchtungsbox geschoben und damit gleichmäßig von hinten beleuchtet.

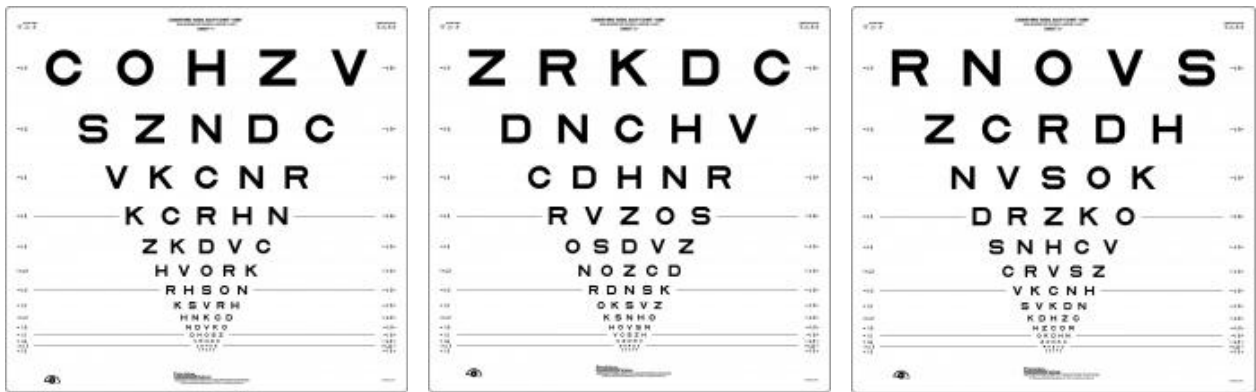


Abbildung 8: ETDRS-Sehzeichentafeln (links: Chart 1, Mitte: Chart 2, rechts: Chart 3) (Precision-Vision, La Salle/USA)

2.2.6 Tübingen Landolt Chart

Für die Studie wurde eine Sehprobentafel mit Landoltringen hergestellt, welche den Kriterien der DIN EN ISO 8596 entspricht. Das Normsehzeichen und seine Darbietung wird bereits in 1.1 (S. 5) beschrieben. Es gibt zwei Tübingen Landolt Charts, welche wie die in 2.2.5 beschriebenen ETDRS-Sehzeichentafeln mit einem gängigen Leuchtkasten verwendet werden können. Die Breite der Tafeln beträgt 65 cm und die Höhe 62,3 cm. Das verwendete Material ist stabiles, abwaschbares Acrylglas. In Abbildung 9 sind die zwei erhältlichen Probetafeln abgebildet. Mit einer Tafel für geringere Visusstufen (low VA) ist ein Visus von 0,1 (4/40) bis 0,5 (4/8) messbar. Die andere Tafel ist für die Messung hoher Visusstufen (high VA). Dabei können Visusstufen von 0,16 bis 3,0 gemessen werden. Da in dieser Studie nur Testpersonen mit einer Sehschärfe von $\geq 0,2$ (4/20) teilnehmen durften, wird in Tabelle 1 lediglich auf die Größenparameter der Tafel für hohe Visusstufen eingegangen. Die Abstufung der Größe der Landoltringe erfolgt entsprechend der ISO 8596 logarithmisch (DIN EN ISO 8596, 2009). Der Abstand der Landoltringe, wird nicht mit der Ringgröße verkleinert. Da die zentrale Position der Landoltringe bei Abstufung der Landoltringgröße gleich bleibt, wird der Abstand zwischen den Sehzeichen zu höheren Visusstufen hin immer größer (s. Tabelle 1).

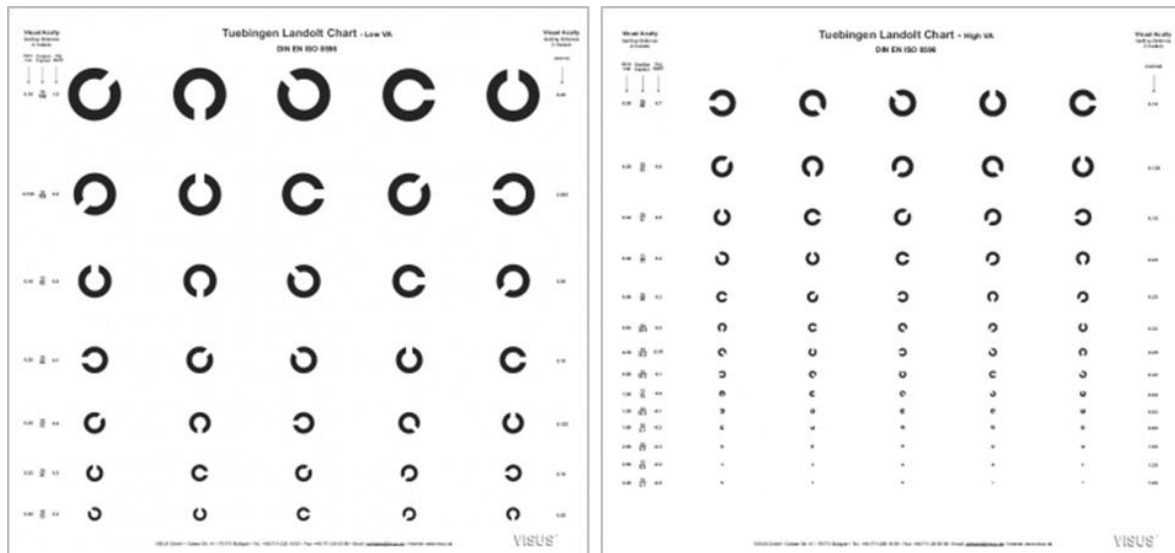


Abbildung 9: Tübingen Landolt Chart (links: low VA, rechts: high VA) (VISUS GmbH, Stuttgart)

Tabelle 1: Abmessungen der Tübingen Landolt Chart “high VA“

Visus	Strichstärke [mm]	Größe Landoltring [mm]	Abstände zwischen Ringen [mm]
0,2	5,8	29	70
0,25	4,64	23,2	76
0,32	3,63	18,13	81
0,4	2,9	14,5	85
0,5	2,32	11,6	88
0,63	1,84	9,21	90
0,7	1,66	8,29	91,5
0,8	1,45	7,25	92,5
1	1,16	5,8	94
1,25	0,93	4,64	95
1,6	0,73	3,63	96
2	0,58	2,9	96,5
2,5	0,46	2,32	97
3,2	0,36	1,81	98

2.3 Versuchsaufbau

Dieser Abschnitt beschreibt die gemessenen Beleuchtungsverhältnisse in den Messräumen und die Prüfdistanzen. Außerdem wird genau auf die Voreinstellungen beim FrACT eingegangen.

2.3.1 Beleuchtung

Damit immer die gleichen Beleuchtungsverhältnisse vorherrschten, wurden in den Messräumen die Rollos heruntergelassen. Die Beleuchtungsstärke des Messraumes lag bei 220 lx. Bei der Messung der Beleuchtungsstärke waren der Beleuchtungskasten und Laptop ausgeschaltet. Zur Bestimmung der Beleuchtungsstärke wurde die Messzelle des Luxmeters an den festgelegten Orten der Eintrittspupille der Probanden gemessen und der Durchschnitt daraus berechnet. Da die Sehschärfeprüfung am VISUCAT in einem anderen Messraum durchgeführt wurde, ist die Beleuchtungsstärke nicht miteingerechnet. Die gemessene Leucht- und Umgebungsleuchtdichten sind in Tabelle 2 aufgetragen. Dafür wurden jeweils 10 Messungen auf den Bildschirmen und Sehprobentafeln und direkt daneben vorgenommen und der arithmetische Mittelwert berechnet. Außer der leicht erhöhten Leuchtdichte des VISUCAT Bildschirms war die Leuchtdichte innerhalb der in DIN EN ISO 8596 gesetzten Grenzen von 80-320 cd/m^2 . Die Umfeldleuchtdichte wurde direkt neben dem Prüffeld gemessen. Nach DIN EN ISO 8596 darf sie nicht kleiner als 0,1 und nicht größer als 0,25 des Prüffeldes sein (DIN EN ISO 8596, Beuth Verlag, 2009).

Tabelle 2: *Leucht- und Umfeldleuchtdichten der Testmethoden [cd/m^2]*

	Leuchtdichte [cd/m^2]	Umfeldleuchtdichte [cd/m^2]
VISUCAT	336	52
FrACT	151	53
ETDRS-Tafeln	237	57
Landoltringtafel	236	57

2.3.2 Prüfdistanzen

Der Rosenbach'sche Visierversuch und die Messungen mit VISUCAT wurden in einer Entfernung von 5,70 m durchgeführt. Der FrACT wurde an einem Laptop ausgeführt, welcher in 4 m Prüferentfernung an der Wand auf einen Tisch gestellt wurde. Der Leuchtkasten wurde so platziert, dass die Distanz zwischen Tafel und Proband 4 m betrug. Somit entsprach der Betrachtungsabstand dem von DIN EN ISO 8596 festgelegten Mindestabstand von 4 m zwischen Eintrittspupille der Prüfperson und dem Sehzeichen (DIN EN ISO 8596, Beuth Verlag, 2009). In DIN 58220 wird als maximale Abweichung für die Prüferentfernung 3 % angegeben. Das entspricht bei einer Entfernung von 4 m einer maximalen Abweichung von +/- 12 cm (DIN 58220-3, Beuth Verlag, 2009). Damit der Abstand möglichst genau eingehalten werden konnte und die maximale Abweichung nicht überschritten wurde, wurden Stühle mit Rückenlehne verwendet, an welche die Testpersonen sich anlehnen sollten. Des Weiteren wurde die korrekte Position der hinteren Stuhlbeine auf dem Boden markiert (s. Abbildung 10).

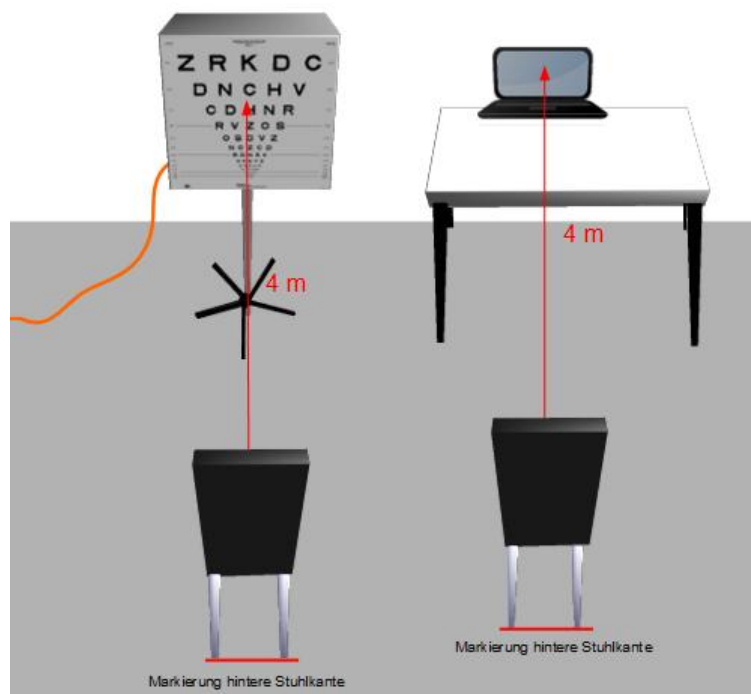


Abbildung 10: Darstellung des Versuchsaufbaus mit Prüfdistanzen [m]

2.3.3 Voreinstellung und Versuchsaufbau FrACT

Bevor die Messungen am FrACT durchgeführt werden konnten, wurden wie in Abbildung 11 dargestellt, einige Veränderungen vorgenommen. Das Programm wurde, wie in der Bedienungsanleitung angegeben, in den Einstellungen kalibriert. Das heißt, die Prüferentfernung wurde von den voreingestellten 399 cm auf 400 cm verändert und die Länge der blauen Kalibrationslinie wurde abgemessen und von 169 mm auf 149 mm verstellt. Bei der Durchführung der Messungen wurde der Landoltring als Einzeloptype verwendet. Es wurden pro Testdurchlauf 18 Optotypen, in 8 möglichen Orientierungen dargeboten. Auf Anraten von Bach wurde diese Optotypenzahl verwendet. Bei einer Studie von Bach und Daub (2013) wurden 2 mal 100 Sehschärfebedingungen, d.h. für normale und genebelte Sicht, für 26 Probanden verglichen und die Wiederholbarkeit der Messungen mit 6, 12, 18, 24 bis 48 Zeichen berechnet. Ergebnis der Studie war, dass die Schwankungen der Messergebnisse bei Wiederholung der Messungen von 6 bis 18 Landoltringen stark abnahmen. Ab 18 und mehr Darbietungen war keine signifikante Abnahme mehr ersichtlich (Bach & Daub, 2013).

Das auditive Feedback blieb bewusst aktiviert. ISO 8596 (2009) verweist hinsichtlich des praktischen Gebrauchs der Methoden zur Sehschärfebestimmung auf die Empfehlungen des „Visual Functions Committee“ des „International Council of Ophthalmology“ (1988). Hinsichtlich des Feedbacks wird in diesem Dokument festgehalten, dass der Testperson während der Messung keine Auskunft gemacht werden soll, ob die gegebenen Antworten richtig oder falsch waren (International Council of Ophthalmology, 1988). Es ist unklar, ob Feedback einen Einfluss auf die Schwellenergebnisse hat (Bach, Freiburg Vision Test – Manual). Grund für die Entscheidung auditives Feedback zu verwenden, gibt die bereits in 1.2 zitierte Studie von Heinrich et al. (2011). Bei der wiederholten Durchführung der Sehschärfemessung wurde der Lerneffekt mit und ohne Feedback verglichen. Mit Feedback fand ein signifikanter Visusanstieg von 0,11 logMAR statt und ohne 0,55 logMAR (Heinrich et al., 2011). Des Weiteren wurde bereits in den Testmessungen festgestellt, dass bei der Verwendung auditiven Feedbacks, die Testpersonen zusätzlich motiviert waren die Messungen konzentriert durchzuführen.

Da es auch möglich sein sollte, Visusstufen über 2,0 zu messen, wurde die maximal dargestellte Sehschärfe auf „unlimited“ verstellt. Um die Ergebnisse nach der Speicherung bearbeiten zu können, musste das Dezimalzeichen „comma“ umgestellt werden. Zur Speicherung der Antwortzeiten, der Position der dargestellten Ringöffnungen, Visusstufen und Antworten der Probanden, wurde auf „full history“ umgestellt. Für jede Versuchsperson wurde ein Exceldokument erstellt. Nach jeder durchgeführten Messung wurde das Ergebnis mit der Tastenkombination Alt-Tab kopiert und in das Exceldokument eingefügt und gespeichert (Bach, Freiburg Vision Test – Manual). Beide Eingabegeräte wurden über einen verlängerten USB-Anschluss mit dem Laptop verbunden.

FrACT – Settings

of choices (for acuity & contrast): 8

of trials, given 2, 4 or 8 choices: 42, 24, 18

'easy trials': every 6th

test on '5': VA Landolt-C

display timeout: 30 s

response timeout: 30 s

position x & y: 0, 0

optotype contrast: 100 %

arcmin contrast-C diam.: 50

full screen: ☒

show trial info: ☒

crowding inducers: none

2x '5' aborts: ☒

to clipboard: full history

visual feedback: none

auditory feedback: with info

auditory feedback when done: ☒

mask on response: none

threshold definition: DIN/ISO corrected

max displayed acuity: unlimited

allow uncertified Sloan letters: ☐

allow grating acuity (low vision only): ☐

allow uncertified contrast screening: ☐

allow experimental Face acuity: ☐

acuity formatting: decimal ☒ Snellen fraction [ft] ☐

logMAR ☒ Snellen fraction [m] ☐

Snellen denominator always 20 ft: ☒

decimal-point character: comma

700 px

149 mm length of the blue ruler

400 cm observer distance

[1 pixel = 0,18 arcmin → max. VAdecimal = 4,87]

Abbildung 11: *Veränderte Einstellungen im FrACT*

2.4 Testablauf

In diesem Kapitel wird der Ablauf der Durchführung der Messungen beschrieben. Wie die Delegationsliste (s. Appendix B, S. 78) sollen Abbildung 12 und Abbildung 13 einen Überblick darüber verschaffen, wann welche Messung

durchgeführt wurde und von wem. Die grauen Pfeile signalisieren Handlungen der Studentinnen und die weißen Richtungsweiser Untersuchungen von Ulrich Schiefer.

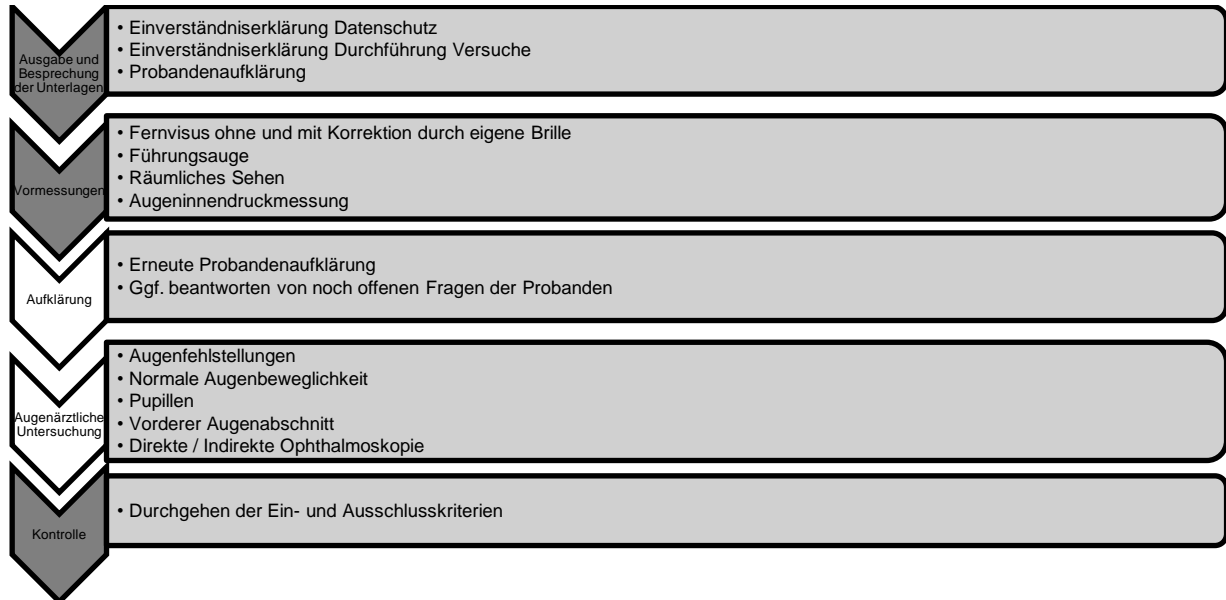


Abbildung 12: *Ablaufschema des 1. Termins*

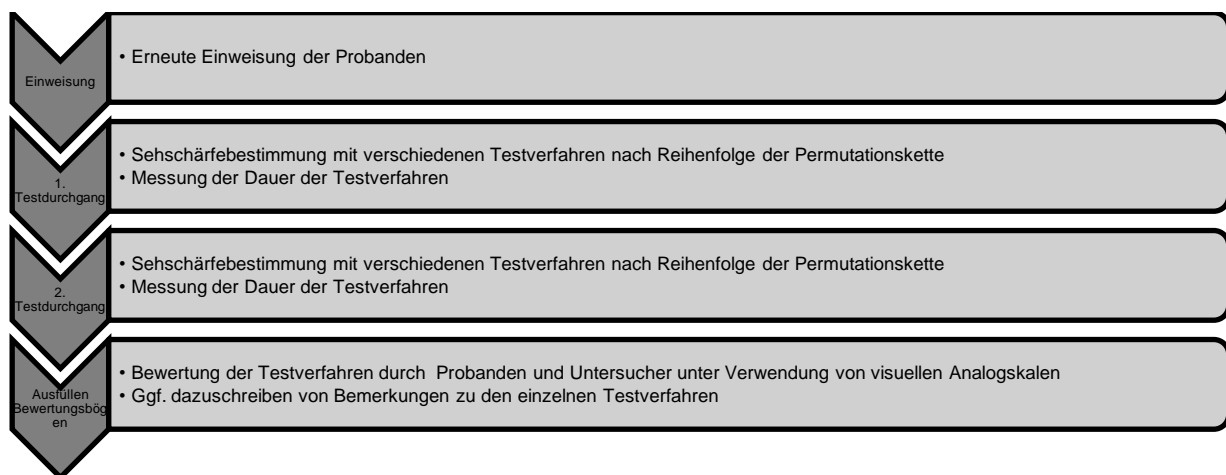


Abbildung 13: *Ablaufschema des 2. Termins*

2.4.1 Voruntersuchung

In Abbildung 12 ist der Ablauf des 1. Termins schematisch dargestellt. Auf die mit den Probanden besprochenen Unterlagen wird in 2.4.8 (S. 31) genauer eingegangen. Zunächst wurden der Visus und das Führungsauge der

Probanden bestimmt. Die Sehschärfe wurde mit einem Sehzeichenmonitor mit Zahlen als Einzeloptotypen, zuerst ohne Korrektur und dann mit Korrektur durch eigene Brille, wenn diese vorhanden war, geprüft.

Das Führungsauge wurde mit Hilfe des Rosenbach'schen Visierversuches lokalisiert. Dabei schauten die Probanden binokular auf ein in der Ferne liegendes Objekt. Die Probanden streckten einen Arm aus und bedeckten mit dem Zeigefinger ein in 5,70 m ferne liegendes Objekt. Wird der Zeigefinger außerhalb des Panum Areals abgebildet, wird er doppelt gesehen. Um herauszufinden wobei es sich um das Führungsauge handelte, wurde den Probanden abwechselnd ein Auge mit der Hand abgedeckt. Wird das Führungsauge verschlossen, liegt der Zeigefinger auf dem in der Ferne liegenden Objekt. Bei Okklusion des nicht führenden Auges, liegt der Zeigefinger versetzt zum Objekt in der Ferne. (Kommerell et al., 2003).

Das räumliche Sehen wurde mit dem Lang-Stereotest II beurteilt. Dazu wurde die Testplatte gerade in einer Entfernung von 40 cm den Probanden vorgehalten (LANG-STEREOTEST AG, Küsnacht/Schweiz). Darauf sind neben drei nur binokular sichtbaren Figuren (Mond, Auto, Elefant), zusätzlich ein auch monokular erkennbarer Stern abgebildet. Die Disparitäten liegen bei 200“ für den Mond, 400“ für das Auto und 600“ für den Elefanten. Die kleinste erkannte Disparität wurde auf dem Untersuchungsbogen eingetragen (s. Appendix D.2, S. 90 f.) (LANG-STEREOTEST AG, Küsnacht/Schweiz).

Der Augeninnendruck wurde mit einem Non-Contact-Tonometer (Tomey, FT - 1000, Nagoya/Japan) gemessen. Wie in 2.1 beschrieben, stellt ein zu hoher Augeninnendruck ein Ausschlusskriterium dar. Grund für die Verwendung der Non-Contact-Tonometrie war, dass die Studentinnen die Messungen selbst durchführen konnten, keine Hornhautanästhesie nötig ist, keine Affektion der Hornhautoberfläche erfolgt und der Zeitaufwand sehr gering ist.

Durch Ulrich Schiefer wurden die Probanden aufgeklärt und eine augenärztliche Untersuchung durchgeführt. Da die Testpersonen durch die Untersuchung mit Spaltlampe und Ophthalmoskop geblendet wurden, wurden die Sehschärfestimmungen nicht im Anschluss durchgeführt. Blendung vor der

Sehschärfeprüfung wird von der DOG als Fehlerquelle bei Sehschärfebestimmung angegeben (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, 2014).

Nach den Voruntersuchungen wurde noch einmal ein Bogen mit den Ein- und Ausschlusskriterien durchgegangen und abgeklärt ob alle Kriterien zur Teilnahme an der Studie erfüllt wurden und die Versuchsperson somit an den für die Studie relevanten Messungen, welche ab 2.4.2 beschrieben werden, teilnehmen durfte (s. Appendix D.3, S. 93).

2.4.2 Untersuchtes Auge und Testreihenfolge

Das für die Messung relevante Auge wurde nach Zufallsprinzip bestimmt. Das andere Auge wurde während der Messungen mit einer handelsüblichen lichtdichten Augenklappe mit Gummiband abgedeckt.

Alle Tests wurden in einer variierenden Reihenfolge dargeboten, um nachvollziehen zu können, ob bei den Probanden Ermüdung eine Rolle gespielt hat und um Lerneffekte kontrollieren zu können. Darum wurde ein Randomisierungsplan für 24 Probanden erstellt, bei welcher sich bei zwei Testdurchläufen kein Test wiederholt. Die 4 Tests wurden jeweils den Buchstaben ABCD zugeteilt. Das heißt, dass ETDRS A, FrACT_k B, Landoltring Tafel C und FrACT_h D entspricht. Jede Testperson erhielt somit eine Nummer in dem Randomisierungsplan (s. Appendix E, S. 94).

2.4.3 Allgemeine Einweisung vor den Testdurchgängen

Was die Körperhaltung angeht, wurden die Probanden angewiesen während den Messungen aufrecht zu sitzen, damit die Prüfdistanzen, wie in 2.3.2 beschrieben eingehalten werden konnten. Außerdem wurden sie darauf hingewiesen, ihre Augen nicht zusammenzukneifen, da sie sich durch eine verengte Lidspalte als stenopäische Lücke einen Vorteil verschaffen hätten können und so die Messergebnisse verfälscht hätten (Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, 2014). Wie im Absatz 1.1 (S. 5) beschrieben, wurden sie angehalten, auch wenn sie ein Sehzeichen nicht mehr erkennen können, zu raten, bis der Untersucher die Messung abbricht ("forced choice"). Für die Versuchspersonen gab es keinen Probedurchlauf.

2.4.4 Freiburger Visustest (FrACT)

Auf Anraten von Michael Bach wurde der Testdurchlauf neu gestartet, wenn die Probanden bei den ersten zwei Testzeichen über eine Fehleingabe berichteten. Grund hierfür ist, dass der erste dargebotene Landoltring eher größer dargeboten wird, damit die Versuchsperson ihn leichter erkennen kann. Gibt diese in diesem Fall bereits eine falsche Antwort, ist der nächste Landoltring noch einfacher zu erkennen und es würde einige Landoltringe dauern, bis die Größe des Landoltringes im tatsächlichen Schwellenbereich liegt.

Der FrACT_h wurde durch den Untersucher gestartet. Dieser brach auch gegebenenfalls den Test ab. Die Messungen des FrACT_k starteten die Probanden durch Drücken auf die 5 in der Mitte des Nummernblocks. Sie konnten den Test abbrechen, indem sie zweimal auf die 5 gedrückt haben. Wurde die Messung gestartet, begann auch die Zeitmessung. Gestoppt wurde, wenn zu allen 18 Landoltringen eine Eingabe getätigt wurde. Beim manuellen Stoppen der Zeit wurde beim Ertönen des Endsignales die Zeitmessung angehalten. Die Messergebnisse wurden notiert und ebenfalls gespeichert.

2.4.5 ETDRS-Tafeln

Vor der Messung wurden die Testpersonen darüber informiert, dass es sich um Buchstaben auf den Tafeln handelt. In den Testdurchläufen wurden zwei verschiedene Tafeln verwendet, damit vermieden wurde, dass sich die Probanden die Buchstabenreihenfolge merken konnten. Die Versuchspersonen begannen immer in der ersten Reihe der Sehzeichentafel. Sie lasen die Reihe von links nach rechts vor und wechselten dann zur nächstkleineren Reihe. Dies führten die Probanden durch, bis 3 der 5 Optotypen einer Reihe falsch vorgelesen wurden und das Abbruchkriterium, wie von DIN EN ISO 8596 vorgegeben, bei 60 % vorlag (DIN EN ISO 8596, 2009). Diese Vorgehensweise entspricht nicht dem originalen ETDRS-Protokoll, in welchem steht, dass die Versuchsperson fortfahren darf, bis sie am Ende der Tafel angekommen ist (Told et al., 2013). Es wurde notiert, welche Buchstaben nicht korrekt vorgelesen wurden und die erreichte Visusstufe (s. Appendix

F.2, S. 99 ff.). Die Zeitmessung wurde gestartet, wenn die Versuchspersonen das erste Sehzeichen vorlasen und wurde gestoppt, sobald das Abbruchkriterium erfüllt wurde.

2.4.6 Tübingen Landolt Chart

Der Testablauf entsprach dem der ETDRS-Tafel. Unterschied war, dass für die Testdurchläufe nur eine Tafel zur Verfügung stand. Hinsichtlich der Angabe der Öffnungsposition der Ringe war eine Angabe durch Richtungen und durch Nennung der Uhrzeiten möglich. Die möglichen Angaben wurden vor dem ersten Testdurchgang erläutert.

2.4.7 Visuelle Analogskala (VAS)

Die VAS ist ein Instrument zur Messung von subjektiven Empfindungen. Es wird in der Physiotherapie häufig verwendet. Die VAS umfasst meist eine Linie mit 100 mm Länge. An den Enden sind die Extrempunkte der zu messenden Empfindung notiert (Schomacher, 2008). Zur Bewertung wurden in dieser Studie VAS verwendet, da es mit Worten oftmals schwierig ist, die subjektive Erfahrung genau zu beschreiben und festzuhalten (Aitken, 1969). Des Weiteren können schnell, subjektive Bewertungen quantifizierbar gesammelt werden (Marsh-Richard et al., 2009).

Die Probanden bewerteten nach den Messungen die vier Tests. Dies erfolgte mit Hilfe der VAS. Die beiden Extrempunkte bedeuteten, dass die Testperson mit dem Test schlecht oder gut zurechtgekommen ist. Die Untersucher bewerteten ebenfalls die verschiedenen Tests. Dabei beurteilten sie, wie gut die Versuchsperson mit den verschiedenen Testmethoden zurechtgekommen ist.

Zwischen den Extrempunkten wurde auf eine waagrechte Linie ein senkrechter Strich gezeichnet. Da die Linie eine Länge von 100 mm hat, wurde ausgemessen wie lang die Strecke vom Extrempunkt „schlecht zurechtgekommen“ zu der gezeichneten Linie ist. Die Ausmessung erfolgte in einer Größenordnung von mm.

2.4.8 Dokumentation

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wurde eine Einverständniserklärung für Datenschutz, eine Einverständniserklärung für die Durchführung der Versuche und eine Probandenaufklärung vor der Durchführung der Messungen mit den Probanden besprochen und unterzeichnet (siehe Appendix C, S. 79 ff.). Die Aufbewahrung der Daten, die Angaben zur Person beinhalten, fand getrennt zu den Ergebnissen der Untersuchungen und Messungen statt. Die Erfassungsbögen, auf welchen Untersuchungs- und Messergebnisse stehen, verwenden nur pseudonymisierte Daten. Es wurde vor den für die Studien relevanten Messungen ein Bogen zur Voruntersuchung und der Ein- und Ausschlusskriterien ausgefüllt (s. Appendix D, S. 86 ff.). Für die Messergebnisse gab es Unterlagen betreffend der Dauern der einzelnen Testdurchläufe und durchgeführten Tests, der Bewertung durch Untersucher und Probanden und um nachvollziehen zu können wie viele Optotypen vorgelesen und welche nicht erkannt wurden, existierten Bögen mit den Sehzeichen der Landolt-Tafel und der ETDRS-Tafeln (s. Appendix F, S. 95 ff.).

2.5 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der Studie erfolgte mit der Statistiksoftware R und Microsoft Excel 2010. Die Prüfung auf Normalverteilung wurde für alle Messverfahren und Testdurchgänge mit dem Shapiro-Wilk-Test durchgeführt. Lag ein p Wert $<0,05$ vor, wurde die Nullhypothese verworfen, d.h. es wurde von keiner Normalverteilung ausgegangen. Zusätzlich wurden Quantil-Quantil Plots (QQ- Plots) für die einzelnen Stichproben erstellt (Wolf et al., 2006) (s. Appendix G, S.103 ff.).

Da nicht für alle Datenreihen eine Normalverteilung nachgewiesen werden konnte, wurde der zweiseitige Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test verwendet (Zöfel, 1992) (s. Appendix G, S. 103 ff.). Von diesem nichtparametrischen statistischen Test wurde beim Vergleich der Testdauern der Methoden und Testdurchgänge, wie auch der Bewertungen der Untersucher und Probanden Gebrauch gemacht. Beim Vergleich der Differenzen der Testdauern, wurde nur der erste Testdurchgang verwendet (Bland & Altman, 1986).

Tabelle 3: Nullhypothesen und gegenübergestellte Alternativhypothesen zum Vergleich der Testmethoden

Hypothesen in Bezug auf subjektive Bewertung durch VAS	
H₀	Kein Unterschied zwischen FrACT _k und FrACT _h
H₁	Unterschied zwischen FrACT _k und FrACT _h
H₀	Kein Unterschied zwischen allen Testmethoden
H₁	Unterschied zwischen allen Testmethoden

Hypothesen in Bezug auf die Testdauern	
H₀	Kein Unterschied zwischen FrACT _k und FrACT _h
H₁	Unterschied zwischen FrACT _k und FrACT _h
H₀	Kein Unterschied zwischen allen Testmethoden
H₁	Unterschied zwischen allen Testmethoden

Tabelle 4: Nullhypothesen und gegenübergestellte Alternativhypothesen zur Test-Retest Reliabilität der Testdauern

Hypothesen in Bezug auf die Test-Retest Reliabilität	
H₀	Kein Unterschied zwischen Testdauern des 1. und 2. Testdurchganges von FrACT _k und FrACT _h
H₁	Unterschied zwischen den Testdurchgängen von FrACT _k und FrACT _h bezüglich der Testdauern
H₀	Kein Unterschied zwischen Testdauern des 1. und 2. Testdurchganges aller Testmethoden
H₁	Unterschied zwischen Testdauern des 1. und 2. Testdurchganges aller Testmethoden

Die in Tabelle 3 und 4 dargestellten Nullhypothesen wurden verworfen wenn p kleiner 0,05 war und ein statistisch signifikanter Unterschied angenommen werden konnte. Das Signifikanzniveau lag somit bei 0,05.

Um die verschiedenen Testmethoden bezüglich der Akzeptanz zu Vergleichen, wurden die Differenzen der Mediane und 2,5 % sowie 97,5 % Quantile der Differenzen bestimmt. Die durchschnittlichen Verhältnisse der Testdauern der beiden Testdurchgänge, sowie der unterschiedlichen Sehtests, wurden zum Vergleich der Testdauern berechnet.

Für die Beurteilung der Übereinstimmung von wiederholten Messwerten einer bestimmten Messmethode („repeatability“) und der Übereinstimmung unterschiedlicher Messmethoden untereinander („agreement“), wurden Bland-Altman-Diagramme zur Visualisierung verwendet (Grouven et al., 2007). Mit der Bland-Altman-Methode wird neben der durchschnittlichen Differenz also der Verzerrung der Messwerte, die Streuung der Differenzen der einzelnen Messwertpaare betrachtet (Grouven et al., 2007). Zusätzlich wurden Box und Whiskerplots verwendet, um die Ergebnisse zu visualisieren und die Bewertungen der verschiedenen Tests, wie auch die Testdauern, miteinander zu vergleichen (Wolf et al., 2006). Boxplots werden herangezogen, um einen schnellen Eindruck zu erlangen, in welchem Bereich die Messwerte liegen und wie die Struktur der Verteilung ist (Brell et al., 2014).

3 Ergebnisse

In der Darstellung der Ergebnisse wird zunächst auf die subjektive Bewertung der Sehtestmethoden durch Probanden und Untersucher eingegangen. In Kapitel 3.3 werden die Testdauern der Sehtests verglichen und in Kapitel 3.4 die Reliabilität der Sehtests betrachtet. Dabei werden die Ergebnisse für die absolute Testdauer und die Testdauer pro Optotype dargeboten.

3.1 Subjektive Bewertung der Sehtests durch Probanden und Untersucher

Um die angewendeten Sehtests zu vergleichen, wurden wie in Kapitel 2.4.7 beschrieben VAS verwendet. Die grafische Darstellung erfolgte mit Boxplots und der Vergleich der einzelnen Methoden zusätzlich mit Bland-Altman-Plots. Des Weiteren wurde den Testpersonen und Untersuchern ermöglicht, die Untersuchungsmethoden mittels Freitext zu bewerten. Häufig vorkommende

Anmerkungen, wurden jeweils getrennt für Probanden und Untersucher in Tabellenform zusammengefasst.

3.1.1 Vergleich der subjektiven Bewertung des FrACT_k und FrACT_h

Ein Hauptgrund für die Durchführung der Studie war herauszufinden, wie die Testpersonen und Untersucher die beiden Eingabegeräte des FrACT und den FrACT als Möglichkeit zur Sehschärfestimmung selbst, angenommen und bewertet haben.

Abbildung 15 (S. 39) zeigt Boxplots der Bewertungen der VAS durch Probanden und Untersucher, die exakten Maßzahlen zu dieser Grafik finden sich in Appendix H.1 (Tabelle 17, S. 110). FrACT_k mit einem Median von 83,5 durch die Testpersonen und 83 von den Untersuchern wurde besser bewertet als FrACT_h mit einem Median von 64,5 bei den Probanden und 75 bei den Untersuchern. Der mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest ermittelte Unterschied ist für Testpersonen und Untersucher signifikant ($p < 0,05$). Die Interquartilsabstände des FrACT_k sind für beide Beurteilungsgruppen fast identisch. Das heißt, dass das Zurechtkommen der Probanden vom Untersucher und Probanden selbst nahezu gleich eingestuft wurde. Die Bewertungen durch die Testpersonen sind beim FrACT_h am breitesten gestreut. Die Whisker zeigen, dass nahezu im gesamten Messbereich (von 4 bis 100) Bewertungen getätigt wurden. Die Streubreiten der Einschätzung des Zurechtkommens durch die Untersucher sind für beide Methoden geringer, als die Beurteilungen der Testpersonen.

Abbildung 14 zeigt die Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der Ergebnisse der VAS von FrACT_k und FrACT_h. Dabei wurde ein Diagramm für die Ergebnisse der Probanden und ein weiteres für die Beurteilungen der Untersucher erstellt. Die Verschiebung der mittleren Linien in den positiven Bereich bekräftigen die etwas bessere Bewertung des FrACT_k. Die großen Differenzen der ausgeführten Beurteilungen der Testpersonen werden durch die um 116,3 auseinanderliegenden Übereinstimmungsgrenzen bestätigt. Der Bereich, in dem sich ca. 95% der Werte der Untersucherbewertungen befinden, ist nur etwa halb so groß.

Bezüglich der Diskrepanz der Bewertung von Probanden und Untersucher besteht kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$). Der Median der aus den Differenzen der Akzeptanz der einzelnen bewertenden Probanden und Untersucher gebildet wurde, liegt für den FrACT_k lediglich bei -3,00 und bei FrACT_h bei -6,5. Das heißt die Untersucher bewerteten das Zurechtkommen der Probanden für beide Methoden geringfügig besser als die Probanden selbst (s. Tabelle 5).

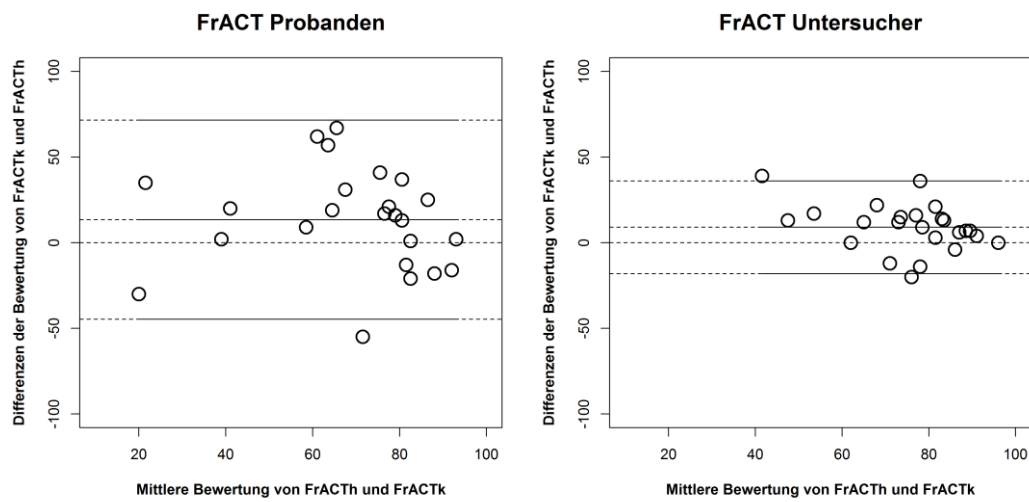


Abbildung 14: Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der subjektiven Bewertung mittels VAS von FrACT_k und FrACT_h , links durch die Probanden und rechts durch die Untersucher. Auf der Abszisse ist dabei die mittlere Bewertung aus beiden Testarten aufgetragen und auf der Ordinate die Bewertungsdifferenz der Methoden. Die mittlere Linie stellt die durchschnittliche Differenz d dar. Ist diese Linie in den positiven Bereich versetzt, wurde FrACT_k besser bewertet. Die obere und untere Linie werden als Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“) bezeichnet. Diese werden aus $d \pm 1,96 \cdot \text{Standardabweichung der Differenz der Eingabemethoden}$ berechnet. Innerhalb dieser Grenzen befinden sich ca. 95 % der Werte (Bland & Altman, 1999).

Tabelle 5: Median der Differenzen, 2,5%- und 97,5%-Quantile der Differenzen der Bewertungen durch Probanden und Untersucher, aus den Sehtests des FrACT

Sehtestmethoden	Median der Differenzen	2,5%-und 97,5%-Quantile der Differenzen
FrACT_k - FrACT_h Probanden	16,5	(-40,63;64,13)
FrACT_k - FrACT_h Untersucher	12,0	(-16,55;37,28)
FrACT_k Proband - Untersucher	-3,0	(-41,48;19,25)
FrACT_h Proband - Untersucher	-6,5	(-58,13;26,68)

Zusätzlich zu den VAS wurde der Proband darum gebeten, Bemerkungen hinsichtlich der durchgeführten Tests auf den Bewertungsbogen zu schreiben. In den folgenden Tabellen sind häufige Bemerkungen seitens der Probanden und Untersucher zu FrACT_k und FrACT_h zusammengefasst. Auf die möglichen Ursachen für die Bemerkungen wird in 4.1 (S. 56 ff.) genauer eingegangen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Probandenbemerkungen zu den zwei Eingabemethoden des FrACT

	Anzahl der Bemerkungen	
	FrACT _k	FrACT _h
Gute Bedienbarkeit	15	7
Bedienung umständlich oder Einstellungsproblematik (Vertippen)	5	8
Einstellung dauert zu lange	0	2
Blickwechsel zwischen Bildschirm und Eingabegerät	0	6

Tabelle 7: Zusammenfassung der Untersucherbemerkungen zu den zwei Eingabemethoden des FrACT

	Anzahl der Bemerkungen	
	FrACT _k	FrACT _h
Gute Bedienbarkeit	5	4
Bedienung umständlich oder Einstellungsproblematik (Vertippen)	4	7
Einstellung dauert zu lange	0	6
Einstellung schnell durchführbar	3	0
Blickwechsel zwischen Bildschirm und Eingabegerät	2	2
Negative Reaktion auf akustisches Antwortsignal	3	

3.1.2 Vergleich der subjektiven Bewertung aller durchgeführten Tests zur Sehschärfebestimmung

Neben den in 3.1.1 beschriebenen Bewertungen des FrACT, wurde auch die Akzeptanz des ETDRS- und Landoltringtests unter Verwendung von VAS gemessen. Der Vergleich aller Testmethoden hinsichtlich ihrer subjektiven Bewertung gehört zu den Nebenzielen der Studie (siehe 1.3, S. 9).

Mit dem folgenden Boxplot (s. Abb. 15) werden die Messergebnisse visualisiert. Diese liegen tabellarisch in Appendix H.1 auf S. 109 vor. Die beiden von Probanden und Untersucher am besten bewerteten Sehtests waren ETDRS (Mediane liegen bei 85,5 und 91) und FrACT_k (Median Probanden beträgt 83,5 und Median Untersucher liegt bei 83). Die Bewertungsdifferenzen zwischen beiden Verfahren waren bei den Probanden nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Untersucher schätzten das Zurechtkommen der Probanden

beim ETDRS-Test signifikant besser ein, als bei der Durchführung des FrACT_k ($p < 0,01$). Die Landoltringtafel (Mediane liegen bei 62 und 72,5) und der FrACT_h (Mediane liegen bei 64,5 und 75) wurden schlechter bewertet. Der Unterschied in der Akzeptanz war für beide Methoden nicht signifikant ($p > 0,05$).

Die Streubereiche des ETDRS-Tests waren im Vergleich zu den anderen durchgeführten Tests am geringsten. Das heißt, dass ca. 95 % der Beurteilungen der Probanden innerhalb von 28 mm und durch die Untersucher in einem Bereich von ca. 20 mm auf den VAS erfolgte (s. Abbildung 15).

Zum Vergleich der Diskrepanzen der Bewertungen der Sehtests der Testpersonen, wie auch der Untersucher wurde der Median aus den Differenzen der Beurteilungen gebildet. Auf Seiten der Probanden erfolgte eine um 24,5 bessere Bewertung des ETDRS-Tests im Vergleich zum FrACT_h. Der größte Unterschied hinsichtlich der Untersucherbewertungen, wurde zwischen ETDRS- und Landoltringtafel-Test festgestellt. Der ETDRS-Test wurde im Median um 19 besser bewertet (s. Tabelle 8). Neben den Gegenüberstellungen der Sehtests, wurden die Bewertungen der Probanden auch mit den Einschätzungen der Untersucher verglichen. Die Abweichungen der Untersucher und der Probandenbewertungen waren für keine der vier Sehtestmethoden signifikant ($p > 0,05$). Der Median der aus den Differenzen der Bewertungen gebildet wurde, war für alle Methoden gering. Der größte Wert wurde beim FrACT_h mit 6,5 erzielt (s. Tabelle 8).

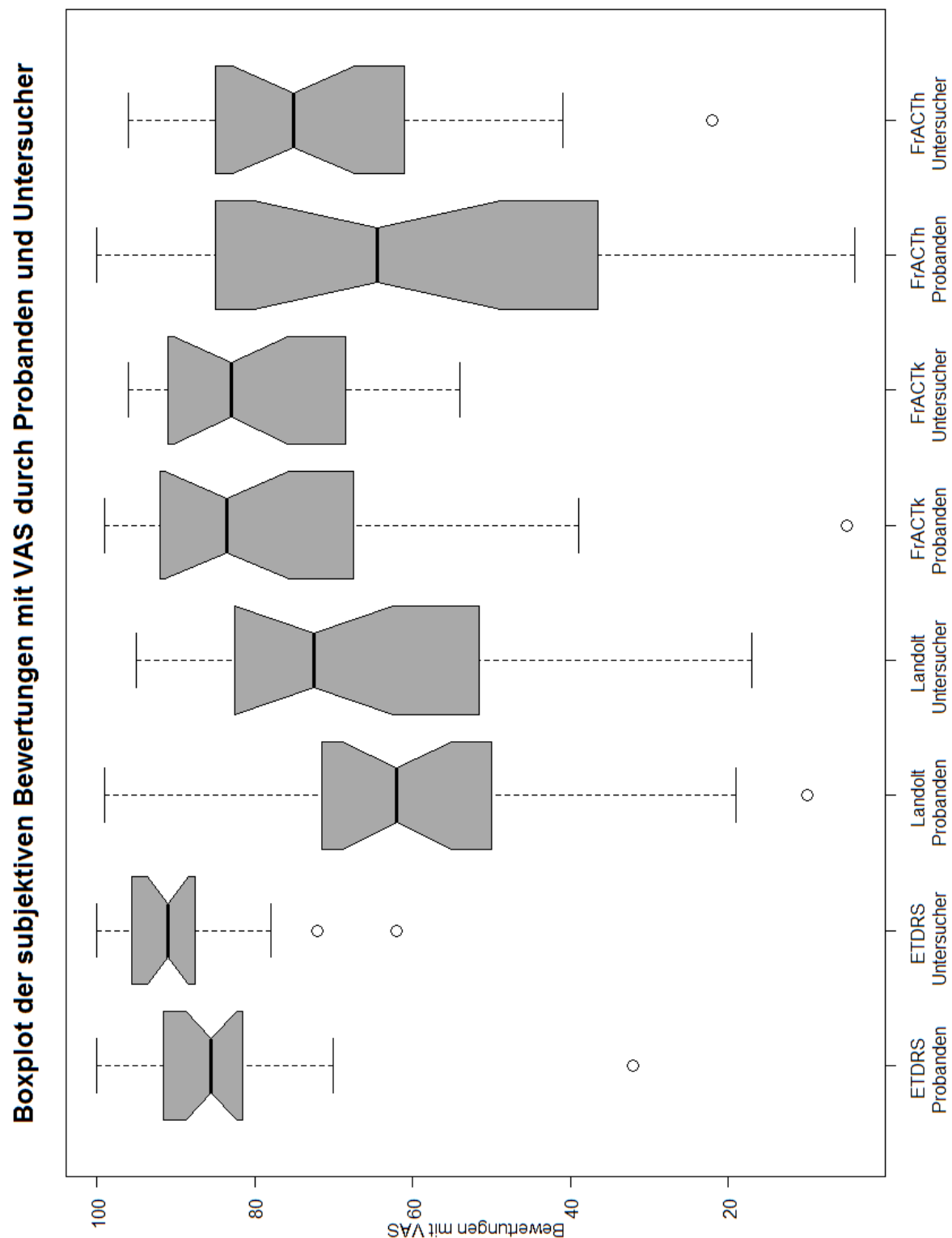


Abbildung 15: Boxplot zur Bewertung der Sehtestmethoden mit VAS durch Probanden und Untersucher. Der allgemeine Aufbau der in dieser Studie dargebotenen Boxplots ist wie in Abbildung 15 dargeboten: Es werden fünf verschiedene Maßzahlen, Minimum, unteres Quartil, Median, oberes Quartil und Maximum dargestellt. Innerhalb der „box“ befinden sich die zentralen 50

% der Werte. In diesem Boxplot 50 % der Bewertungen der VAS. Die Box wird durch den Median, die dicke Linie innerhalb der Box, in zwei Teile geteilt. Das untere Ende der Box stellt das untere Quartil dar und das obere Ende das obere Quartil. Der Abstand zwischen den Quartilen wird als Interquartilsabstand bezeichnet. Zum Minimum und Maximum werden von den Enden der Box Linien gezogen. Diese werden als Whisker bezeichnet und zeigen das Minimum und Maximum, wenn diese den 1,5-fachen Interquartilsabstand nicht überschreiten. Der 1,5-fache Interquartilsabstand ist die Maximallänge der Whisker. Werte darüber werden als Ausreißer bezeichnet und werden durch Punkte kenntlich gemacht. Es werden notched (eingekerbte) Boxplots verwendet, um grobe Hinweise bezüglich der Unterschiede auf einen Blick zu erhalten. Wenn die Einschnürungen der Boxen sich nicht überschneiden ist dies ein starker Hinweis, dass sich die Gruppen signifikant unterscheiden (Mcgill et al., 1978). Die durchgeführten Sehtests und Gruppen sind auf der Abszisse angeordnet. Auf der Ordinate sind die möglichen Werte der VAS von 0 bis 100 aufgetragen.

Tabelle 8: Median der Differenzen, 2,5 %- und 97,5 %-Quantile aus den Bewertungen der Sehtests durch Probanden und Untersucher

Sehtestmethoden	Median der Differenzen	2,5%-und 97,5%-Quantile der Differenzen
ETDRS - Landoltringtafel Probanden	21,50	(-0,85;68,25)
ETDRS - Landoltringtafel Untersucher	19,00	(-7,95;57,27)
ETDRS - FrACT_h Probanden	24,50	(-43,28;74,23)
ETDRS - FrACT_h Untersucher	15,50	(-5,95;56,65)
ETDRS Probanden und Untersucher	-5,00	(-36,45;22,70)
Landoltringtafel Probanden und Untersucher	-3,50	(-60,28;43,85)
FrACT_k - ETDRS Probanden	-4,00	(-67,28;32,45)
FrACT_k - ETDRS Untersucher	-9,00	(-31,98;22,25)
FrACT_h - Landoltringtafel Probanden	3,50	(-67,0;56,20)
FrACT_h - Landoltringtafel Untersucher	-9,00	(-31,98;22,25)
Landoltringtafel Probanden und Untersucher	-3,50	(-60,28;43,85)

Wie zu den Sehtestmethoden des FrACT wurde in jeweils einer Tabelle häufig aufgeschriebene Bemerkungen durch Probanden und Untersucher zusammengefasst (s. Tabelle 9 und Tabelle 10). Die Kommentare dienen als Begründungen für die Bewertungen und werden deshalb in 4.1.2 (S. 57 ff.) genauer erörtert.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Probandenbemerkungen zu ETDRS- und Landoltringtafeln

Eingabemethode	Anzahl der Bemerkungen
ETDRS	
Gut erratbar/erkennbar, einfach/ intuitiv	15
Ab hoher Visusstufe schwer Erkennbar/ Schwierigkeiten, in richtiger Zeile zu bleiben	3
Landolt-Tafel	
Schwierigkeiten, in richtiger Zeile zu bleiben	7
Rechts/Links-Problematik oder Verwechslung der Öffnungsposition	6
Öffnungsposition schwer erkennbar	7

Tabelle 10: Zusammenfassung der Untersucherbemerkungen zu ETDRS- und Landoltringtafeln

Eingabemethode	Anzahl der Bemerkungen
ETDRS	
Einfach/ intuitiv und unkompliziert	10
Ab hoher Visusstufe schwer erkennbar/ Schwierigkeiten, in richtiger Zeile zu bleiben	3
Geringe Testdauer	5
Landolt-Tafel	
Durchführung unkompliziert	2
Schwierigkeiten in richtiger Zeile zu bleiben	7
Rechts/Links-Problematik oder Verwechslung der Öffnungsposition	5
Wartezeit bis zur Probanden-Antwort	3

3.2 Analyse der Testdauer

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Testdauer dargestellt. Die verschiedenen Sehtests sowie der erste und zweite Testdurchgang der Methoden werden hinsichtlich der absoluten Testzeiten und der durchschnittlichen Testdauer pro Sehzeichen verglichen.

3.2.1 Vergleich der absoluten Testdauern der Sehtests

Die absoluten Testdauern des ersten Testdurchganges der Sehtestmethoden wurden erhoben, um herauszufinden wie groß die Unterschiede der Testdauern sind. Dabei wird besonders auf die Zeitdifferenz des FrACT_k und FrACT_h , eingegangen. Dies liegt darin begründet, dass jede Testperson bei FrACT_k und FrACT_h pro Testdurchlauf 18 Optotypen zu benennen hatte und die Anzahl der Sehzeichen nicht wie bei den ETDRS- und Landoltringtafeln von der Sehschärfe abhängt. Des Weiteren lag ein primäres Ziel der Studie im Vergleich der Testdauer von FrACT_k und FrACT_h .

Anhand von Abbildung 16 und den in Tabelle 19 (Appendix H.2, S. 111) dargestellten Maßzahlen des Boxplots lassen sich die Messergebnisse zur absoluten Testdauer entnehmen. Die Methoden zur Sehschärfeprüfung mit dem schnellsten ersten Testdurchgang waren der FrACT_k mit einem Median von 48,22 Sekunden und der ETDRS-Test mit einem Median von 48,71 Sekunden. Der Unterschied der Testdauern beider Verfahren war nicht signifikant ($p > 0,05$). Der Mittelwert, welcher aus den Verhältnissen der beiden Testverfahren für jede Versuchsperson gebildet wurde, ergab eine 1,14-mal längere Testdauer beim FrACT_k .

FrACT_h war der zweitlangsamste Test mit einem Median von 68,23 Sekunden. Der Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummentest ergab einen p-Wert von $< 0,001$ zu den beiden schnellsten Testmethoden. FrACT_h dauerte 1,5-mal länger als FrACT_k und 1,7-mal länger als der ETDRS-Test.

Die "Whisker" des Landoltringtafel-Tests reichen von 21,96 Sekunden bis 164,92 Sekunden. Der Test hat bei Betrachtung des Medians zwar die längste Testdauer mit 96,11 Sekunden, allerdings auch das Minimum aller Testdauern

mit 21,96 Sekunden. Die Testdauer des Landoltringtafel-Tests war mit 1,9 fast doppelt so lang wie die Durchführung des ETDRS-Tests. Die Differenz der Testdauern zwischen FrACT_h und der Landoltringtafel waren nicht signifikant ($p > 0,05$).

In Abbildung 17 sind die Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der absoluten Testdauern der ersten Testdurchgänge der Sehtests dargestellt. Beim Vergleich der absoluten Testdauern des FrACT_k und FrACT_h ist eine Verschiebung der mittleren Differenzen auf -27,73 Sekunden zu erkennen. Die Übereinstimmungsgrenzen liegen ungefähr 90 Sekunden auseinander. Neben einem Ausreißer im Minusbereich, fällt bei genauer Betrachtung auf, dass nur ein Punkt über Null liegt. Dies bestärkt den mit Hilfe des Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummentests ermittelte signifikante Testzeit-Differenz.

In Kapitel 3.2.2 wird auf die durchschnittliche Testdauer pro Optotype, vor allem für den Vergleich der Testdauern von ETDRS- und Landoltringtafel-Test eingegangen, da die Testdauer bei beiden Methoden zur Sehschärfeprüfung abhängig von der Anzahl der vorgelesenen Optotypen ist.

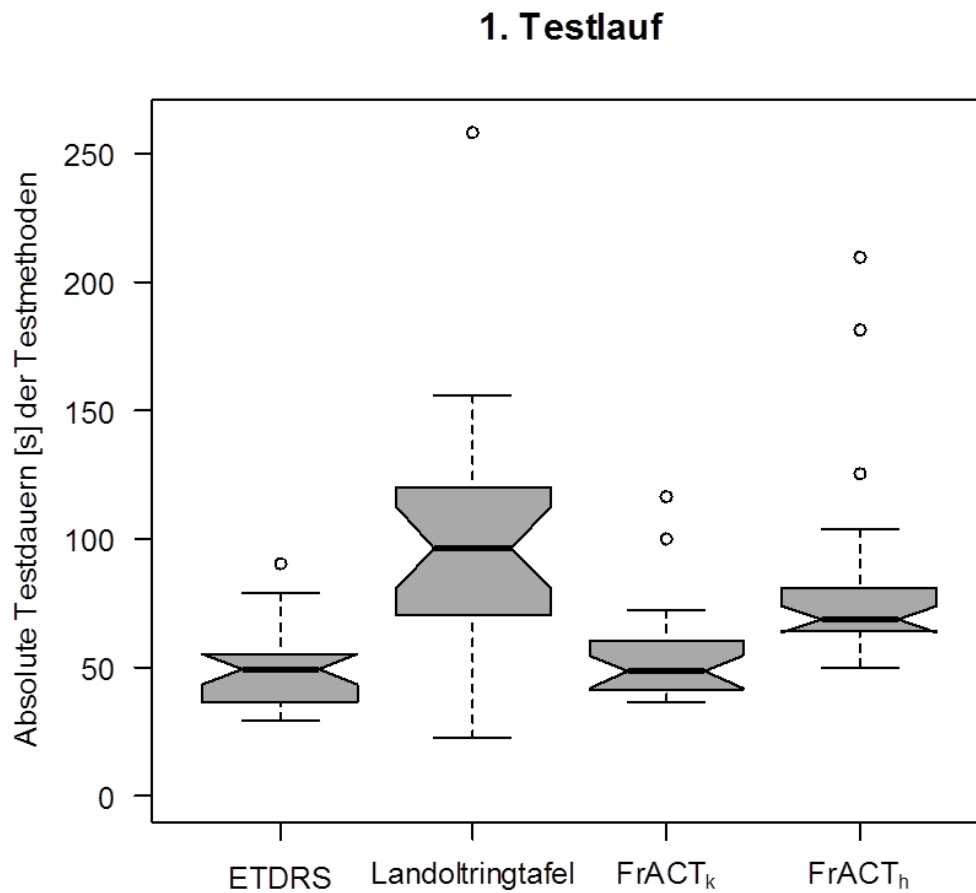


Abbildung 16: Boxplot der absoluten Testdauern [s] des 1. Testdurchganges aller Testmethoden. Auf der Abszisse sind dabei die vier durchgeführten Sehtestmethoden aufgetragen und auf der Ordinate die absolute Testdauer [s]. In Abbildung 15 (S. 39) ist der allgemeine Aufbau der in dieser Studie dargebotenen Boxplots beschrieben.

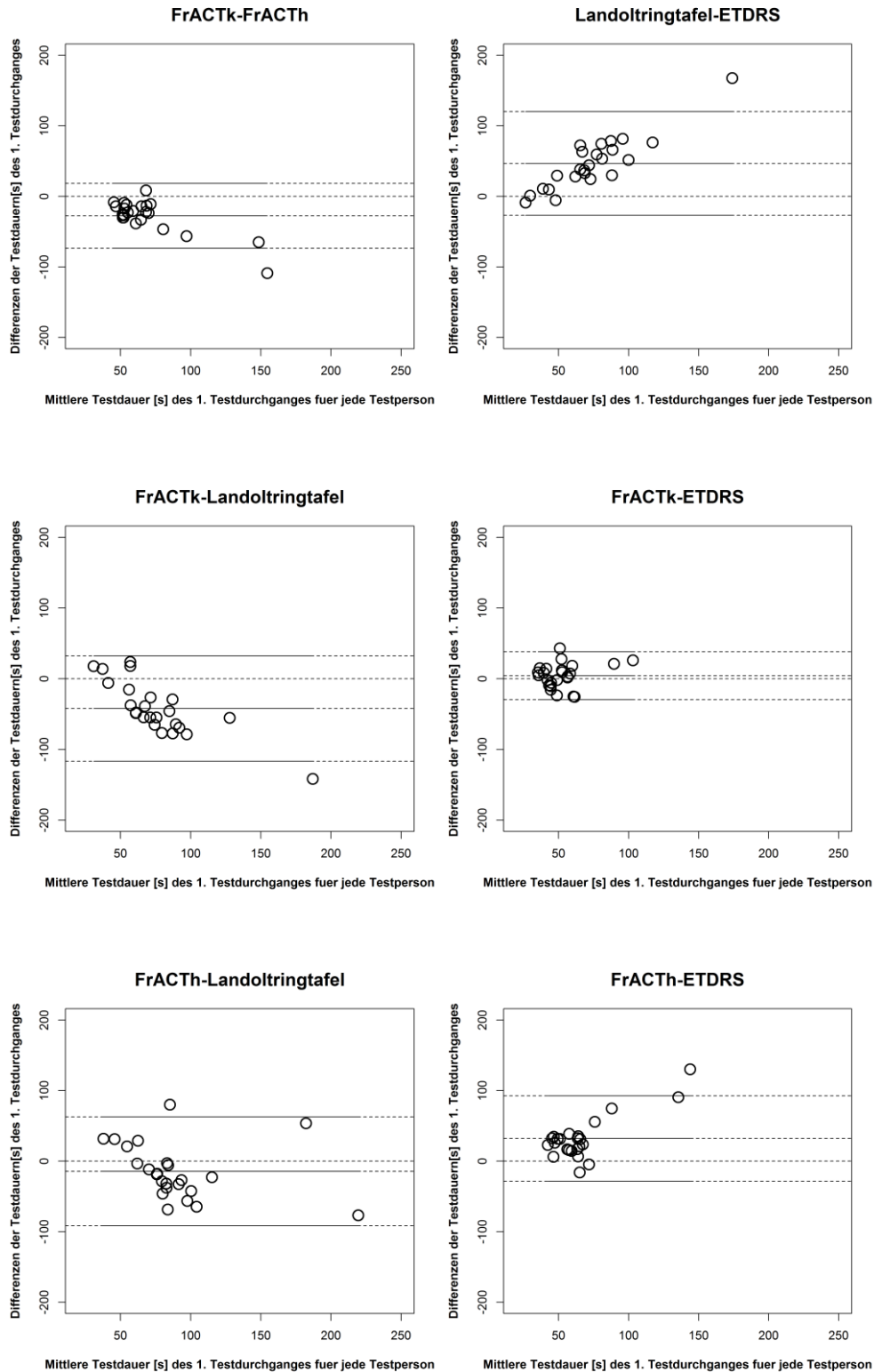


Abbildung 17: Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der absoluten Testdauern der 1. Testdurchgänge der Sehtests. Die zwei Methoden deren Testdauern verglichen werden, stehen über jedem Diagramm. Auf der Abszisse ist die mittlere Testdauer [s] des ersten Testdurchganges für jede

Testperson aufgetragen. Auf der Ordinate sind die Differenzen der Testdauern [s] des ersten Testdurchganges angeordnet. Zur Berechnung der Differenz wurde jeweils die Testdauer des ersten Testdurchganges für jede Versuchsperson des als zweites in der Überschrift der Plots genannten Tests von der Testdauer des ersten Testdurchganges jeder Versuchsperson des als erstes in der Überschrift genannten Sehtests subtrahiert. Die mittlere Linie wurde aus der durchschnittlichen Differenz der Testdauern des ersten Testdurchganges beider Methoden berechnet. Die „limits of agreement“ wurden aus $\pm 1,96$ -mal der Standardabweichung vom Mittelwert der Testzeitunterschiede berechnet. Ist die mittlere Linie in den negativen Bereich verschoben, bedeutet dies, dass für die als erstes genannte Methode im ersten Testdurchgang weniger Zeit benötigt wurde als für die als zweites genannte Methode.

3.2.2 Vergleich der Dauer der Testmethoden pro Sehzeichen

In diesem Kapitel geht es um den Vergleich der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype der Sehtests. Wie bereits in 3.2.1 begründet, dient dies vor allem dem Vergleich der Testdauern der ETDRS- und Landoltringtafel-Tests. Zum Vergleich der Testdauern pro Sehzeichen wurde die Anzahl der angegebenen Optotypen durch die absolute Testdauer geteilt. Hierfür wurden die Testdauern und Anzahl der Sehzeichen des ersten Testdurchganges berücksichtigt.

Abbildung 18 zeigt als Boxplot die durchschnittlichen Testdauern aller vier Sehtests pro Optotype in Sekunden. Die genauen Maßzahlen des Boxplots stehen in Tabelle 20 (S.112). Für das Nennen eines Buchstaben wurde am wenigsten Zeit benötigt (Median liegt bei 0,85 Sekunden). Am zweitwenigsten und dennoch 2,5-mal mehr Zeit wurde für die Angabe der gesehenen Ringöffnung auf der Landoltringtafel (Median von 1,98 Sekunden) benötigt. Die Zeitdifferenz zwischen beiden Methoden, wird durch ein Bland-Altman-Plot visualisiert (s. Abbildung 19). Darauf ist zu erkennen, dass ca. 95 % der Werte zwischen -0,05 und 2,68 Sekunden liegen und es keine Versuchsperson gab, die durchschnittlich für die Angabe eines Buchstabens mehr Zeit

benötigte, als für die Benennung einer Ringöffnung bei der Durchführung des Landoltringtafel-Tests.

Für die Eingabe der Ringöffnung mit dem Nummernblock und dem haptischen Landoltring war die durchschnittliche Testdauer am längsten. Dabei lag der Median beim FrACT_k bei 2,68 Sekunden und beim FrACT_h bei 3,79 Sekunden. Die Notches keines Sehtests überschneiden sich. Dies spricht für einen signifikanten Unterschied, was sich auch durch einen p-Wert $<0,001$ bestätigt (s. Tabelle 20, S. 112).

1. Testlauf

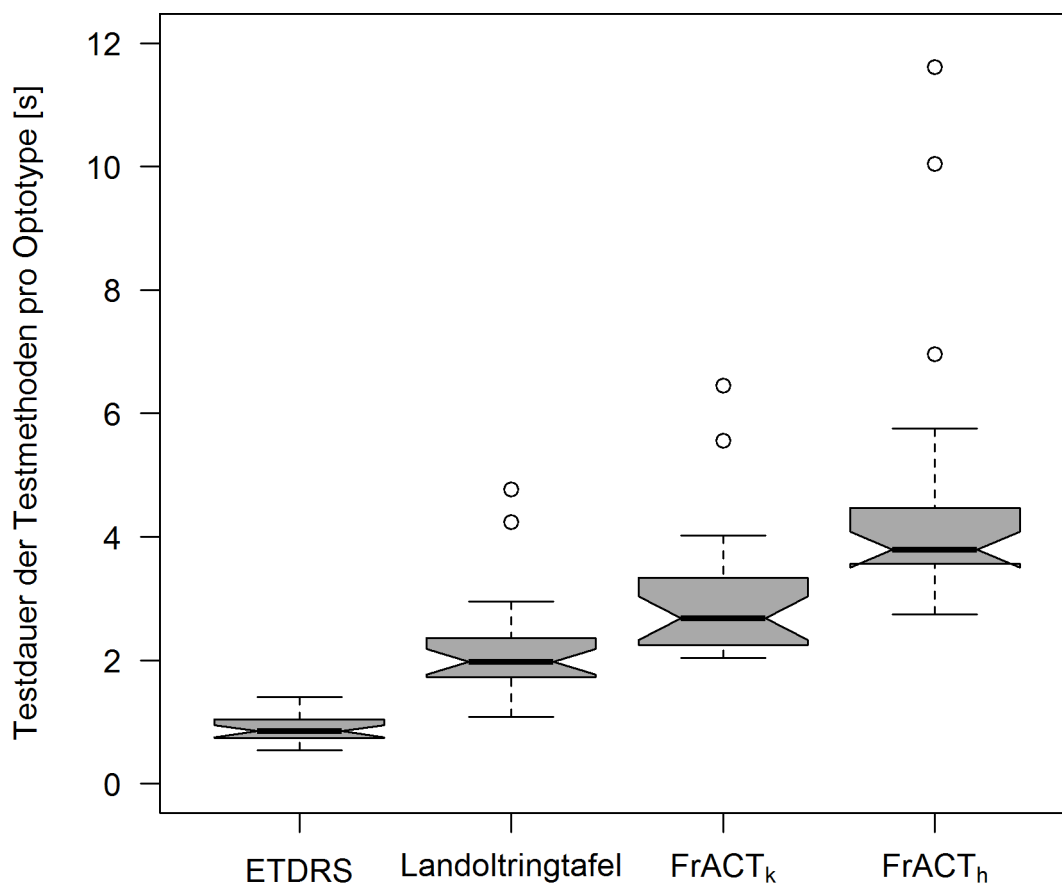


Abbildung 18: Boxplot der durchschnittlichen Testdauern des 1. Testdurchganges aller Testmethoden pro Optotype [s]. Die durchgeführten Sehtests sind auf der Abszisse angeordnet. Auf der Ordinate ist die Testdauer pro Optotype [s] aufgetragen. Dafür wurde die durchschnittliche Testdauer pro

Optotype für jede Versuchsperson berechnet. In Abb.15 (S. 39) ist der allgemeine Aufbau der in dieser wissenschaftlichen Arbeit dargestellten Boxplots beschrieben.

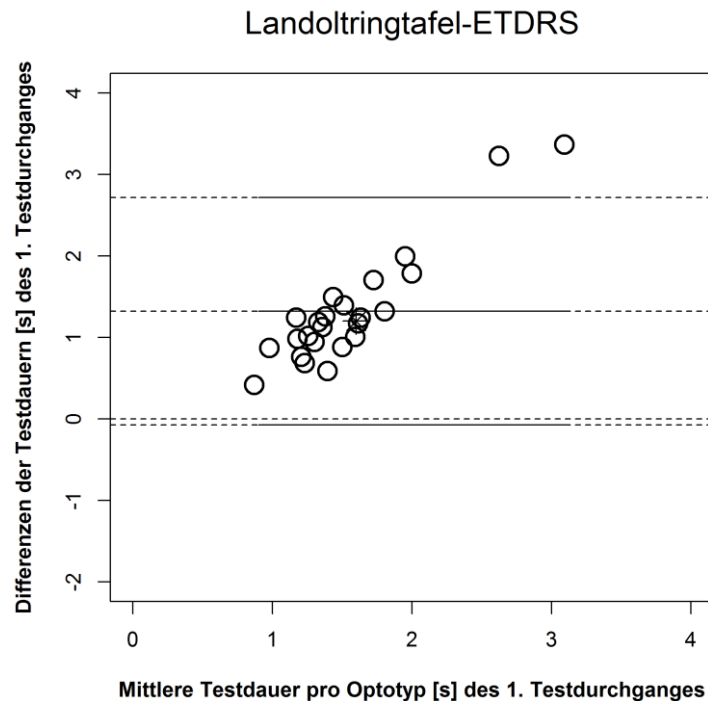


Abbildung 19: Bland-Altman-Diagramm zum Vergleich der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype [s] der ersten Testdurchgänge der ETDRS- und Landoltringtafel. Dafür wurde für jede Versuchsperson die Anzahl der vorgelesenen Optotypen durch die absolute Testdauer geteilt. Auf der Abszisse des Plots ist die mittlere Testdauer [s] des ersten Testdurchganges pro Optotype für jede Testperson aufgetragen. Auf der Ordinate sind die Differenzen der durchschnittlichen Testdauern [s] des ersten Testdurchganges pro Optotype angeordnet. Zur Berechnung der Differenz wurde jeweils die durchschnittliche Testdauer des ersten Testdurchganges pro Optotype für jede Versuchsperson des ETDRS-Tests von der durchschnittlichen Testdauer des ersten Testdurchganges jeder Versuchsperson des Landoltringtafel-Tests subtrahiert. Die mittlere Linie wurde aus der Differenz der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype des ersten Testdurchganges beider Methoden berechnet. Die „limits of agreement“ wurden aus $\pm 1,96$ -mal der Standardabweichung vom Mittelwert der Testzeitdifferenzen berechnet. Ist die mittlere

Linie in den positiven Bereich verschoben, war die durchschnittliche Zeit für die Benennung eines Buchstaben kürzer, als die Angabe einer Landoltringöffnung. Liegen zwei Punkte übereinander ist dies durch eine "Sonne" gekennzeichnet.

3.2.3 Reliabilität der Sehtestmethoden unter Betrachtung der absoluten Testdauern

Damit herausgefunden werden konnte, ob bei Wiederholung der Messungen die Testdauer reduziert wurde und so ein Lerneffekt auftrat, oder ob die Testdauer womöglich angestiegen ist, da die Testperson durch die zahlreichen Messungen erschöpft war, wurden die Testdauern des ersten und zweiten Durchganges erhoben, um die Test-Retest Reliabilität der Dauern der Sehtests zu bestimmen.

In Abbildung 20 sind die Bland-Altman-Diagramme für die Differenzen der Testdauern des ersten und zweiten Testdurchganges, der durchgeführten Sehtests, abgebildet. Bei allen Diagrammen ist eine Verschiebung der mittleren Linie, welche aus dem Mittelwert der Differenzen berechnet wird, in den positiven Bereich zu erkennen. Das bedeutet, dass der erste Testdurchlauf nie langsamer war als der Zweite. Beim ETDRS-Test liegt der Mittelwert der Differenzen lediglich bei 1,42 Sekunden und somit geringer als bei den anderen Sehtests (s. Abbildung 20). Die Übereinstimmungsgrenzen in welchen sich etwa 95 % der Messwerte befinden, liegen bei ETDRS und FrACT_k ungefähr zwischen 45 und 60 Sekunden auseinander. Bei der Landoltringtafel und dem FrACT_h ist der Bereich nahezu doppelt so groß: zwischen 100 und 110 Sekunden (s. Abbildung 20; s. Appendix H.4, Tabelle 22, S. 113).

Der zweite Testdurchgang des ETDRS-Tests war zwar 1,12-mal schneller als der Erste. Doch ergab der Wilcoxon-Vorzeichen-Rangsummentest keinen signifikanten Unterschied ($p > 0,05$). Für alle anderen Testmethoden war der Unterschied signifikant (s. Tabelle 11). Bei der Landoltringtafel war die Testdauer des zweiten Testdurchganges um 1,26-mal geringer ($p < 0,05$).

FrACT_h und FrACT_k wiesen eine 1,2-mal schnellere zweite Durchlaufdauer auf ($p < 0,001$).

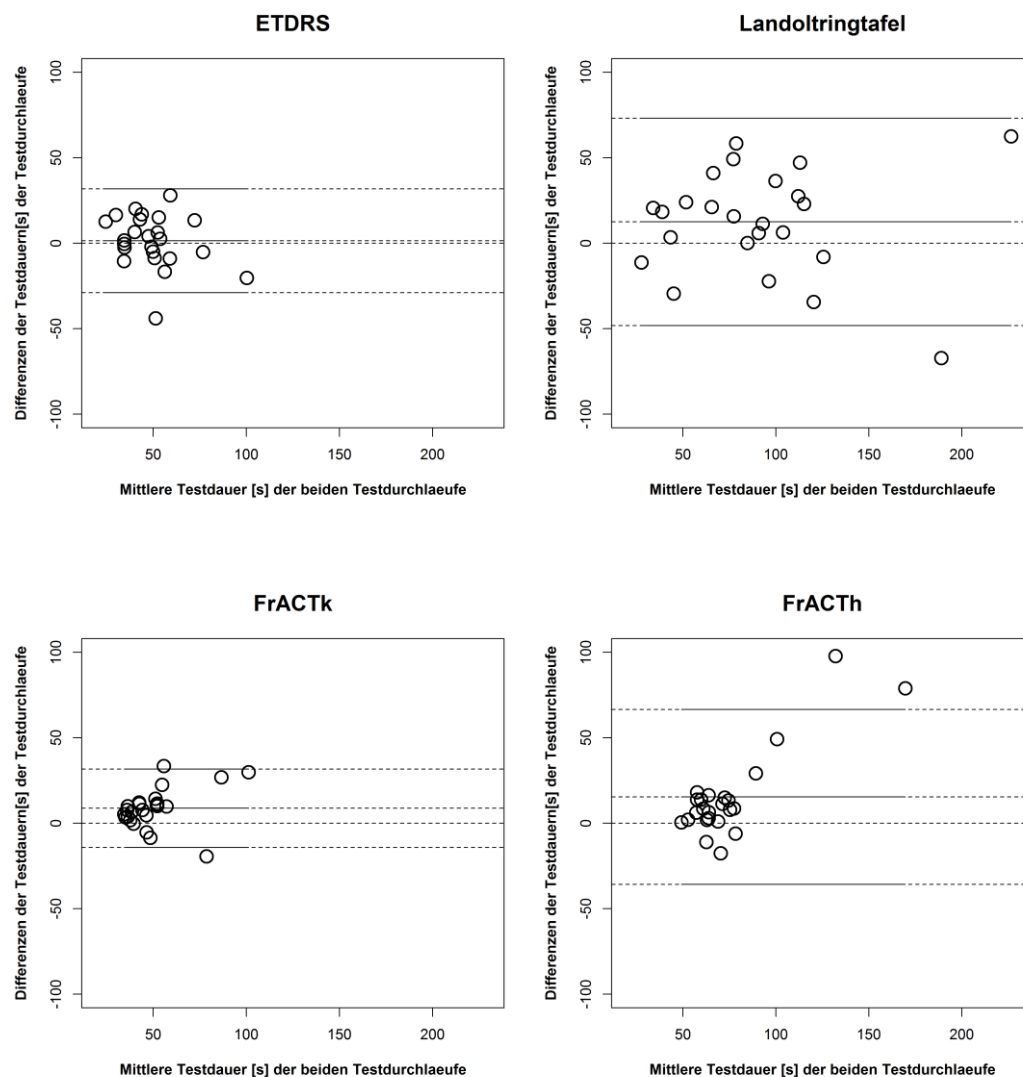


Abbildung 20: Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der absoluten Testdauern des ersten und zweiten Testdurchganges aller durchgeführten Sehtests [s]. Auf der Abszisse ist die mittlere Testdauer [s] der beiden Testdurchläufe für jede Testperson aufgetragen. Auf der Ordinate sind die Differenzen der Testdauern [s] des ersten und zweiten Testdurchganges dargestellt. Zur Berechnung der Differenz wurde jeweils die Testdauer des ersten Testdurchganges von der Testdauer des zweiten Testdurchganges subtrahiert. Die mittlere Linie wurde aus der durchschnittlichen Differenz der Testdauern berechnet. Die Übereinstimmungsgrenzen wurden aus $\pm 1,96$ -mal der Standardabweichung vom Mittelwert der Testzeitunterschiede bestimmt.

Ist die mittlere Linie in den positiven Bereich verschoben, wurde durchschnittlich für den zweiten Testdurchgang weniger Zeit benötigt als für den ersten Testdurchgang.

Tabelle 11: Median, 2,5 %- und 97,5 % Quantile der einzelnen Testdurchgänge der Sehtestmethoden

Sehtestmethoden	Median	2,5%- und 97,5% Quantile
ETDRS		
1. Testdurchgang	48,72	(29,16;83,63)
2. Testdurchgang	45,35	(20,16;92,46)
Landoltringtafel		
1. Testdurchgang	96,11	(26,69;198,88)
2. Testdurchgang	83,02	(27,04;206,88)
FrACT_k		
1. Testdurchgang	48,22	(36,87;106,85)
2. Testdurchgang	41,93	(31,57;87,10)
FrACT_h		
1. Testdurchgang	68,23	(51,86;192,84)
2. Testdurchgang	65,25	(48,73;103,09)

3.2.4 Reliabilität der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype

Neben der absoluten Testdauer wurde auch die Reliabilität für die durchschnittliche Dauer, welche zum Nennen eines Sehzeichens notwendig war, bestimmt. Die Darstellung in Form von Bland-Altman-Diagrammen erfolgte nur der Vollständigkeit wegen für die Sehtestmethoden des FrACT. Da immer 18 Sehzeichen dargeboten wurden, ändert sich lediglich die Skalierung der Achsen.

Abbildung 21 zeigt Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der durchschnittlichen Dauer pro Optotype des ersten und zweiten Testdurchgangs für die vier verschiedenen Tests. In Tabelle 23 (Appendix H.5, S.113) liegen die Maßzahlen tabellarisch vor. Beim ETDRS-Test ist eine sehr leichte Verschiebung um 0,05 Sekunden in den positiven Bereich zu erkennen. Es liegen ca. 95 % der Werte innerhalb einer Sekunde und die Benennung eines Sehzei-

chens im ersten Testdurchgang dauerte lediglich 1,1-mal länger. Der Median des ersten Durchganges betrug 0,85 Sekunden und im zweiten Testdurchgang 0,76 Sekunden. Bei Wiederholung des ETDRS-Tests ist somit kein signifikanter Unterschied erkennbar ($p > 0,05$) (s. Tabelle 12).

Bei Betrachtung aller Plots fällt auf, dass bei den drei Testmethoden, welche den Landoltring als Sehzeichen verwenden, die Übereinstimmungsgrenzen deutlich weiter auseinander liegen als beim ETDRS-Test. Beim Landoltring-Test wurde mit dem Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest zwar ein signifikanter Unterschied nachgewiesen ($p < 0,01$), der zweite Testdurchgang dauerte allerdings lediglich 1,1-mal länger und der Mittelwert der durchschnittlichen Differenzen ist mit 0,21 Sekunden eher gering. Der geringe Unterschied zwischen den Testdauern beider Testdurchgänge wird durch eine geringe Differenz der Mediane von 0,16 Sekunden bestärkt (Median erster Testdurchgang: 1,82, Median zweiter Testdurchgang: 1,98).

Die größte Streuung der Differenzen zwischen dem ersten und zweiten Testdurchgang wurde bei der Durchführung des FrACT_h, mit fast 6 Sekunden, nachgewiesen. Auch wurde die größte durchschnittliche Zeitreduktion zwischen den Testdauern der Testdurchgänge von 0,85 Sekunden pro Sehzeichen ermittelt ($p < 0,001$). Die Differenz der Mediane beider Testdurchgänge ist mit 0,16 Sekunden allerdings gering. Die Mediane der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype des FrACT_k betrugen im ersten Testdurchgang 2,68 Sekunden und zweiten Testdurchgang 2,33 Sekunden ($p < 0,001$) (s. Tabelle 12).

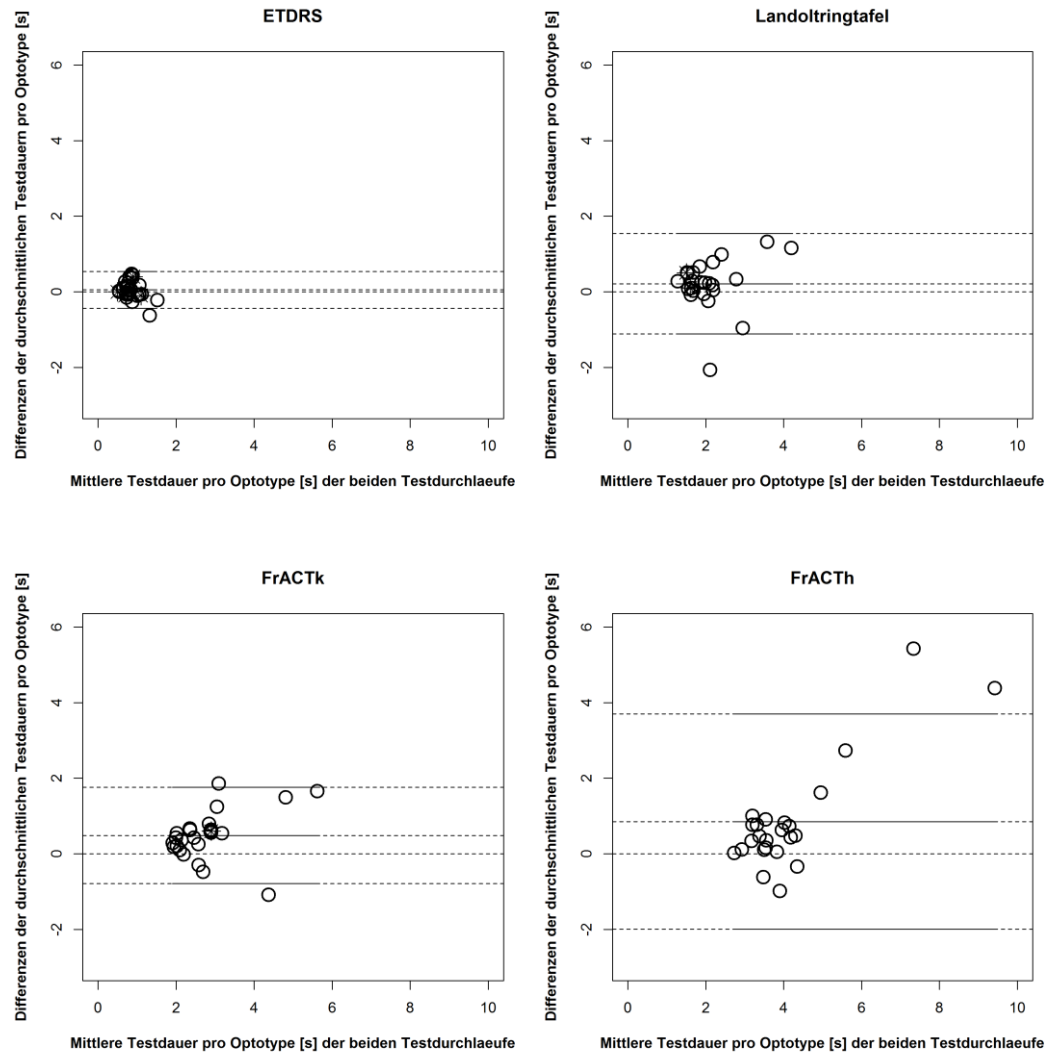


Abbildung 21: Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype des 1. und 2. Testdurchganges aller durchgeführten Sehtests [s]. Dafür wurde für jede Versuchsperson, für jeden Testdurchgang, die Anzahl der vorgelesenen Optotypen, durch die absolute Testdauer geteilt. Auf der Abszisse ist die mittlere Testdauer [s] der beiden Testdurchläufe für jede Testperson aufgetragen. Auf der Ordinate sind die Differenzen der Testdauern [s] des ersten und zweiten Testdurchganges dargestellt. Zur Berechnung der Differenz wurde jeweils die durchschnittliche Testdauer pro Optotype des ersten Testdurchganges von der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype des zweiten Testdurchganges subtrahiert. Die mittlere Linie wurde aus der durchschnittlichen Differenz der Testdauern berechnet. Die „limits of agreement“ wurden aus $\pm 1,96$ -mal der Standardabweichung vom Mittelwert der Testzeitunterschiede ermittelt. Eine

Verschiebung der mittleren Linie zeigt eine Reduktion der durchschnittlichen Testdauer zur Angabe eines Sehzeichens. Liegen zwei Punkte übereinander ist dies durch eine "Sonne" gekennzeichnet.

Tabelle 12: Median, 2,5 %- und 97,5 % Quantile der durchschnittlichen Testdauern [s] pro Optotype der einzelnen Testdurchgänge der Sehtestmethoden

Sehtestmethoden	Median	2,5 %- und 97,5 % Quantile
ETDRS		
1. Testdurchgang	0,85	(0,55;1,26)
2. Testdurchgang	0,76	(0,53;1,62)
Landoltringtafel		
1. Testdurchgang	1,98	(1,27;4,47)
2. Testdurchgang	1,82	(1,21;3,51)
FrACT_k		
1. Testdurchgang	2,68	(2,05;5,94)
2. Testdurchgang	2,33	(1,75;4,48)
FrACT_h		
1. Testdurchgang	3,79	(2,88;10,71)
2. Testdurchgang	3,63	(2,71;5,73)

4 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die Ursachen für die in Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse erörtert und diese mit bereits veröffentlichten Studien verglichen. Es wird als erstes auf die Resultate der subjektiven Bewertungen und nachfolgend auf die Ergebnisse der Testdauern eingegangen.

4.1 Auswertung der subjektiven Bewertungen

Wie bereits in 2.4.7 (S. 30) beschrieben, werden zur Messung der subjektiven Empfindungen der Probanden und zur Einschätzung durch die Untersucher, wie die Probanden mit den verschiedenen Tests zurechtgekommen sind, visuelle Analogskalen verwendet. Die Daten aus den VAS wurden erhoben, um beurteilen zu können, ob die vier verschiedenen Methoden zur Sehschärfebestimmung unterschiedlich beurteilt wurden. In den folgenden Abschnitten wird zuerst auf die Evaluierung von FrACT_k und FrACT_h eingegangen. Danach werden die Ergebnisse der VAS aller Sehtests beurteilt und im Anschluss Schwierigkeiten und Möglichkeiten bei der Verwendung von VAS und sinnvolle Erweiterungen der subjektiven Bewertungen ausgeführt.

4.1.1 Beurteilung von FrACT_k und FrACT_h

Bezüglich des FrACT wurden keine Studienergebnisse gefunden, welche die subjektiven Bewertungen unter Verwendung von VAS behandeln. König et al. (2014) führten zwar ebenfalls VAS-Bewertungen beim FrACT_h durch, allerdings wurden die Ergebnisse nicht veröffentlicht, da sich die Bedienung des Eingabegeräts, vor allem für ältere Testpersonen als wohl schwierig herausstellte (Koenig et al., 2014). Bach (1995) verwendete in einer Studie ein dem Nummernblock ähnliches Eingabegerät mit 8 Tasten, welche den Öffnungspositionen entsprachen. Er beschreibt, dass die Patienten den FrACT besonders gerne angenommen haben (Bach, 1995). Reading und Weale (1993) verwendeten in einer Studie ebenfalls ein computerbasierten Landoltringtest und kamen zum Ergebnis, dass von Patienten selbstgesteuerte Tests, außer bei älteren Versuchspersonen, problemlos durchgeführt werden konnten und gut akzeptiert wurden (Reading & Weale, 1993). Der

FrACT wurde bei den Messungen meiner wissenschaftlichen Arbeit mit einem Nummernblock und einem haptischen Landoltring durchgeführt. Wie in 3.1.1 (S. 34 ff.) dargestellt und beschrieben, wurde der FrACT_k von Probanden und Untersuchern besser bewertet als FrACT_h . Die gute Bewertung des FrACT_k vieler Probanden wird mit der einfachen, schnellen Bedienbarkeit begründet. Nicht immer war die Eingabe problemlos. Es vertippten sich mehr Probanden bei der Verwendung des Nummernblocks als bei Nutzung des haptischen Landoltrings. Die schlechtere Bewertung des FrACT_h wird von den Testpersonen und Untersuchern durch die umständliche Bedienbarkeit begründet. Eigentlich war ein Ziel bei der Entwicklung dieses Eingabegerätes, dieses auch im Dunkeln nutzen zu können. Zahlreiche Probanden mussten allerdings bei der Bedienung auf das Eingabegerät blicken. Die Beleuchtungsstärke im Messraum betrug bei König et al. lediglich 2 lux. Die Dunkelheit im Messraum war möglicherweise eine Ursache für die geringe Akzeptanz des FrACT_h in der Studie (Koenig et al., 2014). Da die Beleuchtungsstärke in meiner Studie höher war, kann dies kein Grund für die schlechtere Bewertung sein. Die breite Spannweite der Messwerte der Sehtestmethode kann damit begründet werden, dass es auch Probanden gab, welchen die Bedienung des Gerätes sehr gut gefallen hat und kein Problem darin sahen, dass die Einstellung länger dauerte.

4.1.2 Vergleich der subjektiven Bewertungen aller Sehtestmethoden

Ein wesentlicher Grund für die sehr gute Bewertung des ETDRS-Tests war die Vertrautheit der Testpersonen mit Buchstaben, welche eine einfache, schnelle und für den Probanden intuitive Testdurchführung ermöglichte. Da ein großer Anteil der Studienteilnehmer eine hohe Sehschärfe erreichen konnte, traten beim Vorlesen der Tafeln gelegentlich Schwierigkeiten auf, in der Zeile zu bleiben. Dies erklärt die gelegentlich schlechtere Bewertungen durch die visuellen Analogskalen. Der Landoltringtafel-Tests wurde mit dem FrACT_h am schlechtesten bewertet. Hauptursache für die geringere Akzeptanz des Landoltringtafel-Tests, welche oftmals von Probanden und Untersuchern angegeben wurde (s. Tabelle 9 und Tabelle 10, S. 42) war die Zeilenproblematik, da die Landoltringe in jeder Zeile direkt untereinander liegen. Für die Durchführung dieses Tests war ein hohes Maß an Konzentrati-

on durch den Probanden nötig, gerade in hohen Visusstufen die richtige Zeile vorzulesen, was gelegentlich nicht gelang. Es gab einzelne sehr gute Bewertungen, welche meist getätigt wurden, wenn ein niedriger Visus vorherrschte, da nicht so viele Landoltringe vorgelesen werden mussten. Ein weiterer Grund für die negativ ausfallende Akzeptanz, war die Schwierigkeit die richtige Position der Öffnung des Landoltringes zu benennen. Neben der Rechts/Links-Problematik, die eine mögliche Verwechslung der Öffnungsposition zur Folge hatte, gaben einige Probanden an, sich allgemein schwer getan zu haben die Lage der Lücke zu erkennen (s. Tabelle 9, S. 42)

Ebenfalls VAS zur subjektiven Bewertung der ETDRS-Tafeln und einer Landoltring-Projektion wählten König et al. (2014). Der Median der Bewertung durch augengesunde Testpersonen lag bei der Verwendung von ETDRS-Tafeln bei 92 und bei einer Darstellung von Landoltringen durch einen Projektor bei 88,5. Die Untersucher bewerteten wie die Probanden mit den Testverfahren zurechtgekommen sind. Der Median liegt bei den augengesunden Testpersonen (n=12) unter Verwendung von ETDRS-Tafeln bei 95,5 und bei der Landoltringprojektion bei 96. Ein möglicher Grund für die deutlich bessere Beurteilung der Landoltringprojektion gegenüber der Landoltringtafel ist, dass bei der Projektion immer nur eine Optotypenreihe dargeboten wurde und die Problematik, in der Zeile zu verrutschen, keine Rolle spielte (Koenig et al., 2014).

4.1.3 Mögliche Testbewertungen durch den Untersucher

In diesem Absatz soll besonders auf mögliche Beurteilungen der Untersucher eingegangen werden, da diese nicht mit den VAS erfasst wurden. Der Untersucher beurteilte nämlich lediglich, wie die Probanden mit den Tests zurechtgekommen sind. Aus Sicht des Untersuchers für die Durchführung des FrACT im Gegensatz zu den Sehprobentafeln spricht, dass der FrACT die Antworten und Ergebnisse speichert. Dies hat zur Folge, dass der Untersucher viele Informationen mit geringem Aufwand erhält. Des Weiteren kann der Untersucher das Testergebnis nicht beeinflussen, da die Folge der dargebotenen Ringgröße vom Programm selbst berechnet wird. Hinsichtlich der Untersucherbeurteilung hat dies aber nicht nur positive Folgen. Sieht dieser,

dass der Proband sich verdrückt hat, kann er nur den Test abbrechen und neustarten oder die falsche Eingabe tolerieren. Nicht berücksichtigt wurde zudem der Aufwand die Testmethoden dem Probanden zu erklären. Dabei war die Erläuterung des ETDRS-Tests am einfachsten und kürzesten. Beim FrACT mussten zwar jeweils die Eingabegeräte erläutert werden, doch ist die Handhabung beider Geräte meist intuitiv und stellte sich deshalb nicht als problematisch heraus. Am schwierigsten war es, dem Probanden die Benennung der Ringöffnung beim Vorlesen der Landoltringtafel zu erklären.

4.1.4 Anmerkungen zur Verwendung von VAS

Nahezu bei allen Probanden war die Verwendung der VAS unproblematisch. Doch zeichnete sich schon bei Testmessungen ab, dass neben der schriftlichen Einweisung auf dem Bewertungsbogen, noch eine genaue Anweisung notwendig ist, was bewertet werden soll. Mögliche Fehlerquellen waren, dass der Proband die Anweisung nicht richtig verstanden hat und somit nicht korrekt bewertete. Des Weiteren mussten die Strecken der VAS mit einem Lineal ausgemessen und in das Auswertungsprogramm eingegeben werden. Es ist möglich, dass es Messfehler gab oder Ergebnisse falsch eingetragen wurden. Um dieser Problematik aus dem Weg zu gehen, hätten direkt adaptive visuelle Analogskalen (AVAS) verwendet werden können. Dies ist eine Software mit welcher VAS erstellt, verwaltet und deren Messergebnisse automatisch bestimmt werden können (Marsh-Richard et al., 2009). Das Programm ist kostenfrei bei www.nrlc-group.net herunterladbar.

4.2 Beurteilung der Testdauer

Die Ergebnisse zur Testdauer wurden in Kapitel 3.2 aufgeführt und beschrieben. In den folgenden Abschnitten geht es um mögliche Ursachen für die Testzeitdifferenzen der verschiedenen Sehtests, sowie beider Testdurchläufe. Des Weiteren werden die Studienergebnisse vergleichbaren Veröffentlichungen gegenübergestellt.

4.2.1 Übereinstimmung der Testzeiten

Es gibt nach aktuellem Kenntnisstand bislang keine Studie, die die Testdauer des FrACT_k und FrACT_h miteinander vergleicht. Ein Grund für die längere Testdauer des FrACT_h ist der zusätzliche Arbeitsschritt, der zur Ergebniseingabe nötig ist, d.h. das Drehen des Ringes auf die gesehene Position, bevor auf die Bestätigungstaste gedrückt wird. Des Weiteren war bei einigen Probanden zur Bedienung des haptischen Landoltrings ein mehrfacher Blickwechsel von Bildschirm zu Eingabegerät nötig. Heinrich et al. (2011) verwendete eine mit dem FrACT_k vergleichbare Sehtestmethode und gab eine Testdauer von 3-5 Minuten für 50 Sehzeichen an. Die Daten wurden von 27 ophthalmologisch unauffälligen Probanden erhoben, welche ihre habituelle Korrektur trugen. 13 Testpersonen (Alter 26-31) erhielten nach der Eingabe ein Feedback und 14 (Alter 23-32) führten die Messungen ohne Feedback durch. Pro Sehzeichen bedeutet dies eine durchschnittliche Testdauer von 3,6 Sekunden bis 6 Sekunden (Heinrich et al., 2011). Für die Angabe einer Optotype benötigten die Testpersonen in meiner Studie beim FrACT_k durchschnittlich 2 Sekunden bis 6,5 Sekunden im ersten Testdurchgang und 1,7 Sekunden bis 4,9 Sekunden im zweiten Testdurchgang. Der Median beider Testdurchläufe lag unter 3 Sekunden. Ursache für die längeren Testdauern ist möglicherweise die größere Anzahl der zu benennenden Sehzeichen und ein daraus folgender Nachlass an Konzentration oder Auftreten von Ermüdung während der Messung. Lange et al. (2009) bestimmte die Testdauer des FrACT bei Probanden mit sehr geringer Sehschärfe. Die Testdurchführung unterschied sich dadurch deutlich von meiner Studie. 30 Sehzeichen wurden den Probanden ($n=41$; $65 \pm 17,5$ Jahre) mit dem FrACT in einer Entfernung von 50 cm dargeboten und die Eingaben tätigte der Untersucher. Neben den absoluten Testdauern, welche im Vergleich zu meiner Studie deutlich erhöht waren, wurde in der Studie auch die Reaktionszeiten für richtige, falsche Angaben und Bonus-Sehzeichen ermittelt (Lange et al., 2009). Dies habe ich auch für meine Studie durchgeführt. Die Ergebnisse in Form von Boxplots befinden sich in Appendix I (S. 114).

Beim Vergleich von Mittelviehhaus et al. (1993) der Testdauer des einem FrACT_k entsprechenden Verfahrens, mit einer DIN- konformen Darbietungs-

weise durch einen Sehzeichenprojektor ergab sich für den FrACT Testdauern von 55-180 Sekunden ($\bar{x}=81\pm30$ Sekunden) und für die Landoltringprojektion von 90-330 Sekunden ($\bar{x}=180\pm72$ Sekunden), somit eine doppelt so lange Testdauer für die Projektion. Dafür wurden 9 Testpersonen im Alter zwischen 30 und 90 Jahren ($\bar{x}=56\pm26$), mit Katarakt und/oder Makuladegeneration untersucht. Die schnellere Durchführung beim FrACT lässt sich damit begründen, dass lediglich die 4 geraden Stellungen des Landoltringes dargeboten wurden. Des Weiteren wurde eine maximale Darbietungszeit von 10 s eingestellt, welche in meiner Studie auch überschritten wurde. Allerdings wurden bei der Studie von Mittelviefhaus et al. (1993) maximal 30 Landoltringe dargeboten, was die überraschend geringe Differenz möglicherweise begründet. Vor allem wenn das deutlich höhere Probandenalter berücksichtigt wird (Mittelviefhaus et al., 1993).

Es gibt mehrere Gründe für die längeren Durchführungszeiten des Landoltringtafel-Tests gegenüber dem ETDRS-Test. Ein Grund ist die Vertrautheit der Probanden mit Buchstaben, welches ihre Benennung gegenüber dem Landoltring deutlich erleichtert. Des Weiteren fiel es vielen Testpersonen bei der Landoltringtafel selbst bei niedrigen Visusstufen schwer, die Zeile zu halten, da kein Einrücken der Sehzeichen wie bei den ETDRS-Tafeln stattfindet. Zwar hatten auch beim ETDRS-Test Probanden bei hohen Visusstufen Schwierigkeiten, in der Zeile zu bleiben und benötigten eine gewisse Überlegungsdauer, doch fiel es den Probanden leichter sich eine benannte Buchstabenreihe zu merken, als die Position der Ringöffnung. Bei Koenig et al. (2014) wurden zur Überprüfung der Übereinstimmung der Testdauern der Durchschnitt der Mediane der Testdauern des ersten und zweiten Testdurchganges von ETDRS-Tafeln und einer Landoltringprojektion berechnet. Bei Augengesunden ($n=12$) war die Testdauer der Landoltringprojektion 1,5-mal länger als bei der Darbietung der ETDRS-Tafeln. Der Median des ersten Testdurchganges des ETDRS-Tests bei Augengesunden betrug 53,5 Sekunden und beim Landoltring-Test 97 Sekunden. Zwar unterscheidet sich die Darbietung des Landoltringes, indem er statt auf einer Tafel aufgedruckt, projiziert wurde und somit nicht alle Optotypenreihen auf einmal dargeboten werden konnten, doch entspricht der

Wert fast den Ergebnissen meiner Studie. Die Dauer für die ETDRS-Tests, liegt über dem in dieser Arbeit ermittelten Median von 48,7 Sekunden. Grund ist möglicherweise der Altersunterschied der Testpersonen zwischen den Studien, da der Median des Alters der Studie von König et al. 40 Jahre betrug (Koenig et al., 2014).

Bei den Untersuchungen von Rosser et al. (2001) wurde ebenfalls die Testdauer des ETDRS-Tests gemessen. Der Median zur Durchführung des ETDRS-Tests betrug 105 Sekunden. Für diese Studie wurden 41 Probanden rekrutiert (davon 16 männlich und 25 weiblich), welche 49 bis 89 Jahre bei den Messungen waren. Es wurden keine Ergebnisse von augengesunden Testpersonen erhoben, sondern von Probanden mit Katarakt (n=30), Pseudophakie (n=7) und primärem Offenwinkelglaukom (n=4). Die Sehschärfen wurden unter Verwendung der Forced-Choice-Methode bestimmt und reichten von +0,82 bis -0,14 logMAR (Median +0,34 logMAR). Das Abbruchkriterium dieser Studie war eine komplett falsch vorgelesene Zeile. Das Alter der Probanden, die vorliegenden Erkrankungen und auch das Abbruchkriterium können Ursachen für die verlängerte Testdauer sein. Was die Anzahl der Buchstaben betrifft, wurden aufgrund der geringeren durchschnittlichen Sehschärfe der Probanden im Vergleich zu dieser Studie jedoch weniger Buchstaben vorgelesen. Laidlaw et al. (2008) ermittelte einen Median für die Durchführung des ETDRS-Tests von 56 Sekunden bei erwachsenen Testpersonen (n=70). Das Probandenklientel bestand aus augengesunden Probanden und Testpersonen mit ophthalmologischen Erkrankungen. Dafür wurden die Messergebnisse von 70 erwachsenen Testpersonen erhoben (Laidlaw et al., 2008). Zur Reduktion der Testdauer des ETDRS-Tests, verglichen Camparini et al. den standardisierten ETDRS-Test ohne Abbruchkriterium mit einer schneller durchführbaren Version, durch Reduktion der zu benennenden Buchstabenanzahl. Es wurden die Daten von 57 Probanden erhoben, welche zwischen 21 und 85 Jahren waren (\bar{x} =49,1). Neben Refraktionsfehlern (n=35) wurden Probanden mit Katarakt (n=6), altersabhängiger Makuladegeneration (n=8), Trauma (n=3) und mit Schilddrüse verbundener Orbitopathie (n=1), mit einer Sehschärfe von 0,2 (20/100) bis 2,0 (20/10), rekrutiert. Der ermittelte Mittelwert der standardisierten ETDRS-

Methode betrug 99,1 Sekunden \pm eine Standardabweichung von 28,8 Sekunden. Grund für die höheren Durchlaufsdauern liegt vermutlich an dem fehlenden Abbruchkriterium, wie auch der Anweisung der Testpersonen die Buchstaben langsam vorzulesen und das höhere Probandenalter. Auch Lim et al. (2010) verzichteten auf die Durchführung einer Forced-Choice-Strategie ermittelten allerdings eine geringere durchschnittliche Testdauer des ETDRS-Tests von 34,7 Sekunden. Die Spannweite der Testdauern erstreckte sich dabei von 9,4 bis 80,2 Sekunden. Ursache für die sehr geringen Testdauern sind höchstwahrscheinlich die gemessenen Visuswerte $<0,2$ (4/20). Des Weiteren wurde jeder benannte Buchstabe gewertet. Es gab somit kein Abbruchkriterium. Die geringere durchschnittliche Sehschärfe und daraus folgende geringere Anzahl der vorgelesenen Optotypen des Probandenklientels ($n=40$), welches im Median 64 Jahre alt war und aus Testpersonen mit Katarakt, Glaukom, trockener Makuladegeneration und chronischer Hornhautnarben bestand, ermöglichte eine schnellere Testdurchführung im Vergleich zu der ermittelten Testdauer (Lim et al., 2010).

Es wurde keine Studie gefunden, die den ETDRS-Test mit dem FrACT_k vergleicht. Zwar dauerte die Eingabe eines einzelnen Sehzeichens auf dem Nummernblock durchschnittlich länger als die Benennung eines Buchstaben auf der ETDRS-Tafel, doch wurden im Median 63 Buchstaben benannt und auf dem Nummernblock stets 18 Landoltringe eingegeben. Die Ursache, dass zwischen beiden Verfahren kein signifikanter Unterschied festgestellt wurde, war somit möglicherweise die hohe durchschnittliche Sehschärfe und somit die größere zu benennende Buchstabenanzahl der Testpersonen. Dasselbe gilt für FrACT_h und den Landoltringtafel-Test.

4.2.2 Test-Retest Reliabilität der Testdauern

Bei beiden Eingabemethoden des FrACT wurde ein signifikanter Unterschied zwischen dem ersten und zweiten Testdurchgang nachgewiesen. Eine mögliche Ursache ist der Lerneffekt beim Handling mit dem Nummernblock und haptischen Landoltring. Dieser Effekt, welcher eine Reduktion der Testdauer zur Folge hatte, lag allerdings in einer geringen Größenordnung, d.h. der zweite Testdurchgang für beide Methoden des FrACT war lediglich

1,2-mal schneller. Beim FrACT_h gab es im zweiten Testlauf nur noch einen Ausreißer, im Vergleich zum ersten Testdurchgang, in welchen drei Ausreißer gemessen wurden, welche die durchschnittliche Testdauer erhöhten. Da die Testreihenfolge zufällig war, wurde bei 14 Probanden zuerst FrACT_h durchgeführt und bei 10 Testpersonen mit FrACT_k begonnen. Weil es auch beim allgemeinen Umgang mit dem Freiburger Visustest keinen Übungsdurchlauf gab, ist es schwierig, einen möglichen Lernerfolg der Testmethoden zu erfassen, da womöglich bei dem Test, welcher als zweites durchgeführt wurde, bereits beim Umgang mit dem FrACT ein Lernerfolg stattfand. Lange et al. (2009) führten ebenfalls zwei Testdurchläufe des FrACT durch, um ihre Testdauern miteinander zu vergleichen. Die Messungen unterschieden sich dadurch, dass es in dieser Studie Übungsdurchläufe gab. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Testdurchgängen für alle Gruppen ermittelt. Es fand eine durchschnittliche Testdauerabnahme auf ca. 87 % statt (Lange et al., 2009). Dies entspricht etwa den Ergebnissen meiner Studie.

In der Studie von Koenig et al. (2014) lag der Median der Testdauer der Landoltringprojektion bei Augengesunden bei 97 Sekunden im ersten Testdurchgang und bei 70 Sekunden im zweiten Testdurchgang. Der Median der Dauer bei der Verwendung von ETDRS-Tafeln lag im ersten Testdurchgang bei 53,5 Sekunden und im zweiten Testdurchgang bei 56 Sekunden (Koenig et al., 2014). In meiner Studie wurde beim Landoltringtest im zweiten Testdurchgang ein Median von 96,1 Sekunden und im folgenden Testdurchgang ein Median von 83 Sekunden gemessen. Die bestimmten Mediane der Durchführungsdauern der ETDRS-Tests betrugen 48,7 Sekunden im ersten Testdurchgang und 45,4 Sekunden im zweiten Testdurchgang. Bei beiden Studien ist keine große Zeitdifferenz beim ETDRS-Test zwischen den Testdurchläufen zu erkennen. Die Landoltringprojektion und der Landoltringtafel-Test weisen eine Reduktion der Testdauer bei wiederholter Testdurchführung auf. Ursache ist wahrscheinlich der Lerneffekt in der Benennung der Orientierung und die Gewöhnung an die Forced-Choice-Strategie.

5 Ausblick

Da sich die Pilotstudie auf die Untersuchung augengesunder Probanden beschränkte, welche Studenten an der Hochschule Aalen waren, wäre es sinnvoll in einer Hauptstudie das Spektrum auszuweiten und auch ältere Probanden miteinzubeziehen. Des Weiteren sollten neben augengesunden, unauffälligen Probanden auch Testpersonen mit verschiedenen häufig vorkommenden Augenerkrankungen und Auffälligkeiten, wie Schielamblyopie, Katarakt, Makuladegeneration oder Optikusneuropathie untersucht werden.

Was die Messbedingungen angeht, unterscheiden sich die Leuchtdichten der Prüfvorrichtungen deutlich (VISUCAT 336 cd/m², FrACT 151 cd/m², ETDRS-Tafel 237 cd/m², Landoltringtafel 236 cd/m²). Um für jede Testmethode die gleichen Beleuchtungsverhältnisse und somit eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den Sehtests zu erreichen, wäre eine Assimilation der Leuchtdichten sinnvoll.

Außerdem wäre es sinnvoll, auch die Untersucher, wie in Abschnitt 4.1.3 beschrieben, die vier Testmethoden bewerten zu lassen, beurteilten sie in dieser Studie lediglich wie die Probanden mit den Tests zurechtgekommen sind. Neben den zwei Testmethoden des FrACT wäre es förderlich gewesen, den Freiburger Visustest ohne Eingabegerät durch mündliche Angaben durchzuführen, um herauszufinden, inwieweit die Bewertung von den Eingabegeräten abhängt. Auch sollte in Betracht gezogen werden, die in 4.1.4 genannten AVAS zu verwenden.

Hinsichtlich der Darbietungsdauer des FrACT sollte eine maximale Darbietungsdauer von 10 Sekunden eingestellt werden. Damit können starke Ausreißer vermieden werden. Oftmals brauchten Probanden bei der Benennung eines Landoltringes deutlich länger als bei allen anderen. Dies führte möglicherweise zu einer deutlichen Beeinflussung der Gesamttestdauer, wie auch der durchschnittlichen Testdauer.

Als nach DIN konformes Verfahren wurde sich in dieser Studie für die Tübingen Landolt Chart entschieden. In einer nachfolgenden Studie sollte aufgrund der Problematik, in der richtigen Zeile zu bleiben, entweder eine

Landoltring-Projektion wie bei König et al. (2014), eine Darbietung auf einem Monitor oder auch eine Nummerierung der Zeilen der Tübingen Landolt Chart, um dem Probanden einen Anhaltspunkt zu geben, verwendet werden.

6 Schlussfolgerung der Arbeit

Die schnelleren Testzeiten und besseren Bewertungen lieferte der FrACT_k im Vergleich zum FrACT_h . Der Entwicklungsgrund des haptischen Landoltrings war eigentlich eine im Dunkeln durchführbare, einfache, intuitive Eingabemöglichkeit zu schaffen. Im Rahmen der Studie stellte sich allerdings heraus, dass das Handling des Gerätes oftmals umständlich und zeitintensiv war. Bei der Durchführung beider den FrACT verwendenden Sehtestmethoden war eine signifikante Reduktion der Testdauer bei Wiederholung der Verfahren zur Sehschärfebestimmung und somit ein Lerneffekt der Probanden zuerkennen.

Die kürzeren Testzeiten und zudem sehr gute Bewertungen erzielte der ETDRS-Test. Nach den Vorgaben der DIN EN ISO 8596 wurde die Tübingen-Landolt-Chart hergestellt und dargeboten. Zwar zeichnet sie sich durch einen sehr hohen prüfaren Visus bis 3,2 aus, doch führte die Anordnung der Landoltringe zu Schwierigkeiten, in der richtigen Zeile zu bleiben und die Durchführung erforderte deshalb ein hohes Maß an Konzentration. Dies war ein Grund für die deutlich schlechtere Bewertung im Rahmen der VAS. Allgemein kostete die Angabe von Landoltringen mehr Zeit als die Benennung von Buchstaben. Die absolute Testdauer betreffend dauerten FrACT_h und der Landoltring-Test am längsten und die Bewertung war am schlechtesten. Zwischen FrACT_k und dem ETDRS-Test bestand kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Testdauer, wie auch der Akzeptanz der Probanden. Geschuldet war dies auch der hohen durchschnittlichen Sehschärfe der Testpersonen. Beim Vergleich der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype zeigte sich für alle vier Verfahren ein signifikanter Unterschied. Die Angabe eines Buchstabens benötigte am wenigsten Zeit, gefolgt von dem Landoltringtafel-Test und der Eingabe einer Ringöffnung auf dem Nummernblock. Am meisten Zeit beanspruchte die Wiedergabe der gesehenen Ringöffnung beim FrACT_h . Bei den drei Testmethoden, welche den

Landoltring als Sehzeichen verwenden, war eine geringe, signifikante Testzeitreduktion bei wiederholter Durchführung zu erkennen.

Literaturverzeichnis

Aitken, R. B. (1969). Measurement of feelings using visual analogue scales. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 62(10), 989–993.

Bach, Michael. A brief history of FrACT. Zugriff am: 25.10.2014. Verfügbar unter: <http://www.michaelbach.de/fract/index.html>

Bach, Michael (1997). Anti-aliasing and dithering in the 'Freiburg Visual Acuity Test'. *Spatial Vision*, 11(1), 85–89.

Bach, Michael (2014). Manual of the Freiburg Vision Test 'FrACT', Version 3.8.2. Zugriff am : 23.10.2014. Verfügbar unter: http://michaelbach.de/fract/media/FrACT3_Manual.pdf

Bach, Michael (1995). Der Freiburger Visustest: Automatisierte Sehschärfbestimmung. *Der Ophthalmologe Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 1995(92), 174–178.

Bach, M./Daub, A. (2013). State of the Freiburg Visual Acuity Test – Dangers and Possibilities. *Perception* 42 ECVP, Abstract Supplement, 94.

Brell, C./Brell, J./Kirsch, S. (2014). Statistik von Null auf Hundert: Mit Kochrezepten schnell zum Statistik-Grundwissen. Berlin: Springer Spektrum, 44.

Bland, J. Martin/Altman, G. Douglas (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307–310.

Deutsches Institut für Normung e.V.(2009). DIN EN ISO 8596:2009 Augenoptik – Sehschärfepfung – Das Normsehzeichen und seine Darbietung. Alleinverkauf durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 5340:1998-04-Begriffe der physiologischen Optik. Alleinverkauf durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Deutsches Institut für Normung e.V.(2009). DIN 58220 Teil 3- Sehschärfbestimmung: Prüfung für Gutachten. Alleinverkauf durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Deutsches Institut für Normung e.V. (2009). DIN 58220 Teil 5: Allgemeiner Sehtest. Alleinverkauf der Normen durch Beuth (2013). Alleinverkauf durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.

Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft & Gesellschaft für Augenheilkunde (2014). Empfehlungen der DOG zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten. Version 11, 7-10.

Diepes, H. (2004). Refraktionsbestimmung. (3., komplett überarb. Aufl). Heidelberg: DOZ-Verlag, 63-64.

Dietze, H./Artes P. H. (Eds.) (2008). Die optometrische Untersuchung: 27 Tabellen. Stuttgart, New York: Thieme

Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Design and Baseline Patient Characteristics (1991). *Ophthalmology*, 98(5), 741–756.

Ferris, Frederick L. 3rd/Kassoff, Aaron/Bresnick, George H./Bailey, Ian (1982, Juli) New visual acuity charts for clinical research. *American Journal of Ophthalmology*, 94(1), 91–96.

Grouven, U./Bender, R./Ziegler A./Lange S. (2007). Vergleich von Messmethoden. *DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 132, e69-e73.

Heinrich, Sven P./Kruger, Katja/Bach, Michael (2011). The dynamics of practice effects in an optotype acuity task. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology*, 249(9), 1319–1326.

IBK Systeme GmbH. VISUCAT. Zugriff am: 22.09.2014. Verfügbar unter: <http://www.ibk-sys-teme.de/visucat/visucat.htm>

International Council of Ophthalmology (1988). Visual Acuity measurement Standard(II/I), 1–18.

Jungnickel, Hendrik & Grein, Hans-Jürgen (2008). Sehfunktionsprüfung am Monitor. *Deutsche Optikerzeitung*, 2008(5), 46–51.

Koenig, Simone/Tonagel, F./Schiefer, Ulrich/Bach, Michael/Heinrich, Sven P. (2014). Assessing visual acuity across five disease types: ETDRS charts are faster with clinical outcome comparable to Landolt Cs. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology*, 252(7), 1093–1099.

Kommerell, Gutram/Schmitt, Christina/Kromeier, Miriam/Bach, Michael (2003). Ocular prevalence versus ocular dominance. *Vision Research*, 43(12), 1397–1403.

Lachenmayr, B./Friedburg D./Hartmann E. (Eds.) (1999). Auge - Brille - Refraktion: Begleitschrift zum "Schober-Kurs" ; 21 Tabellen. (2., durchges. und erg. Aufl), Bd. 136. Stuttgart: Enke, 18.

Laidlaw, D A H/Tailor, V./Shah, N./Atamian, S./Harcourt, C. (2008). Validation of a computerised logMAR visual acuity measurement system (COMPlog): comparison with ETDRS and the electronic ETDRS testing algorithm in adults and amblyopic children. *The British journal of ophthalmology*, 92(2), 241–244.

Lange, C./Feltgen, N./Junker, B./Schulze-Bonsel, K./Bach, M. (2009). Resolving the clinical acuity categories "hand motion" and "counting fingers" using the Freiburg Visual Acuity Test (FrACT). *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 247(1), 137–142.

LANG-STEREOTEST AG. LANG-STEREOTEST: Kurzbeschreibung und Anleitung. Zugriff am 17.08.2014. Verfügbar unter: http://www.lang-stereotest.com/lang/fileadmin/user_upload/gzd_fb_lang_d.pdf

LANG-STEREOTEST AG. LANG-STEREOTEST II: Kurzbeschreibung und Anleitung. Zugriff am: 17.08.2014. Verfügbar unter: http://www.lang-stereotest.com/lang/fileadmin/user_upload/Instructions/stereotest II d 1s.pdf

Lieberman, Harris R. & Pentland, Alex P. (1982). Microcomputer-based estimation of psychophysical thresholds: The Best PEST. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 14(1), 21–25.

Lim, L.-A./Frost, N. A./Powell, R. J./Hewson, P. (2010). Comparison of the ETDRS logMAR, 'compact reduced logMar' and Snellen charts in routine clinical practice. *Eye* (London, England), 24(4), 673–677.

Marsh-Richard, D. M./Hatzis, E. S./Mathias, C.W./Venditti, N./Dougherty D. M. (2009). Adaptive Visual Analog Scales (AVAS): A modifiable software program for the creation, administration, and scoring of visual analog scales. *Behavior Research Methods*, 41(1), 99–106.

Mcgill, R./Tukey, J. W./Larsen, W. A. (1978). Variations of Box Plots. *The American Statistician*, 32(1), 12–16.

Mittelviefhaus, K./Bach, M./Jedynak, A./Kommerell, G. (1993). The Freiburg Vision Test. A computer-assisted procedure with sequential strategy. *Der Ophthalmologe Zeitschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 90(2), 132–135.

NEI Clinical Studies (2000). Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS). Zugriff am: 24.10.2014. Verfügbar unter: <https://www.nei.nih.gov/neitrials/static/study53.asp>

Precision-Vision. Products: Revised 2000 Series ETDRS Charts. Zugriff am: 16.08.2014. Verfügbar unter: <http://precision-vision.com/products/etdrs-charts/revised-2000-series-etdrs-charts.html>

Rassow, B./Grimm, W. (1998) Ophthalmologische Optik: Zum Stand der Normung der Sehschärfebestimmung. *der Augenarzt*, 98(3), 175-182.

Reading, V. M. & Weale, R. A. (1993). Self-administered automatic sight-testing. *Documenta ophthalmologica*, 83(1), 43–54.

Rosser, D. A./Laidlaw, D. A./Murdoch, I. E. (2001). The development of a "reduced logMAR" visual acuity chart for use in routine clinical practice. *The British journal of ophthalmology*, 85(4), 432–436.

Schomacher, Jochen (2008). Gütekriterien der visuellen Analogskala zur Schmerzbewertung. *physioscience*, 4(03), 125-133.

Stelzer, L.-E. (2014, April). Von der Papptafel zum PolaSkop3D (Teil 1): Was können die neuen Sehzeichengeräte mehr? Lohnt sich ein Umstieg? *FOCUS*, 2014(4), 30–33.

Told, R./Baratsits, M./Garhöfer, G./Schmetterer, L. (2013). ETDRS (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study)-Visus. *Der Ophthalmologe*, 110(10), 960–965.

Wesemann, W./Schiefer, U./Bach M. (2010). Neue DIN-Normen zur Sehschärfestimmung. *Der Ophthalmologe*, 107(9), 821–826.

Wolf, Hans Peter/Tiemann, Veith/Naeve, Peter (2006). *BWL-Crash-Kurs Statistik: Aktiv mit R, Wirtschaftswissenschaften*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH, 197-198.

Visus GmbH: Tübingen Landolt Chart “low VA“ und “high VA“. Zugriff am 24.10.2014. Verfügbar unter: http://www.visus.de/shop/index.php?cat=c28_Fernteste-Fernteste.html

World Medical Association (1964) Declaration of Helsinki—Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. Zugriff am 24.10.2014. Verfügbar unter: <http://www.wma.net/en/30publications/10policies/b3>

Zöfel, Peter (1992). *Statistik in der Praxis*. (3., überarb. und erg. Aufl), 1293. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 151-155.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Altersverteilung der Probanden in Jahren..	11
Abbildung 2:	Boxplot der mit Zahlen gemessene Sehschärfe [logMAR].	12
Abbildung 3:	VISUCAT-Monitor mit Bemaßung [cm] (IBK Systeme GmbH)	13
Abbildung 4:	Landoltring mit 3 Pixeln Lückenbreite; links: Originalform; Mitte: Schwarz-Weiß-Darstellung am Monitor; rechts: Anti-Aliasing-Darstellung am Monitor (Jungnickel & Grein, 2008)	15
Abbildung 5:	Nummernblock mit Bemaßung [cm] und FrACT am Monitor des Laptops	17
Abbildung 6:	Haptisches Eingabegerät mit Bemaßung [cm] und FrACT am Monitor des Laptops	17
Abbildung 7:	Beleuchtungsbox	18
Abbildung 8:	ETDRS-Sehzeichentafeln (links: Chart 1, mitte: Chart 2, rechts: Chart 3) (Precision-Vision)	20
Abbildung 9:	Tübingen Landolt Chart (links: low VA, rechts: high VA) (VISUS GmbH)	21
Abbildung 10:	Darstellung des Versuchsaufbaus mit Prüfdistanzen [m]	23
Abbildung 11:	Veränderte Einstellungen im FrACT	25
Abbildung 12:	Ablaufschema des 1. Termins	26
Abbildung 13:	Ablaufschema des 2. Termins	26
Abbildung 14:	Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der subjektiven Bewertung mittels VAS von $FrACT_k$ und $FrACT_h$, links durch die Probanden und rechts durch die Untersucher..	35
Abbildung 15:	Boxplot zur Bewertung der Sehtestmethoden mit VAS durch Probanden und Untersucher..	39
Abbildung 16:	Boxplot der absoluten Testdauern des 1. Testdurchganges aller Testmethoden [s].	45
Abbildung 17:	Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der absoluten Testdauern der 1. Testdurchgänge der Sehtests	46
Abbildung 18:	Boxplot der durchschnittlichen Testdauern des 1. Testdurchganges aller Testmethoden pro Optotype [s]	48
Abbildung 19:	Bland-Altman-Diagramm zum Vergleich der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype [s]	49
Abbildung 20:	Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der absoluten Testdauern des ersten und zweiten Testdurchganges aller durchgeführten Sehtests [s]	51
Abbildung 21:	Bland-Altman-Diagramme zum Vergleich der durchschnittlichen Testdauern pro Optotype des 1. und 2. Testdurchganges aller durchgeführter Sehtests [s]	54
Abbildung 22:	QQ-Plot der Beurteilung des ETDRS-Tests (links: Probanden; rechts: Untersucher)	104

Abbildung 23:	QQ-Plot der Beurteilung des Landoltringtafel-Tests (links: Probanden; rechts: Untersucher).....	104
Abbildung 24:	QQ-Plot der Beurteilung des FrACT _k (links: Probanden; rechts: Untersucher).....	105
Abbildung 25:	QQ-Plot der Beurteilung des FrACT _h (links: Probanden; rechts: Untersucher).....	105
Abbildung 26:	QQ-Plot der absoluten Testdauer des ETDRS-Tests (links: 1.Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang).....	106
Abbildung 27:	QQ-Plot der absoluten Testdauer des Landoltringtafel-Tests (links: 1.Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang).....	107
Abbildung 28:	QQ-Plot der absoluten Testdauer des FrACT _k (links: 1.Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang).....	107
Abbildung 29:	QQ-Plot der absoluten Testdauer des FrACT _h (links: 1.Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang).....	107
Abbildung 30:	QQ-Plot der durchschnittlichen Testdauer pro Sehzeichen des ETDRS-Tests(links: 1.Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang).....	108
Abbildung 31:	QQ-Plot der durchschnittlichen Testdauer pro Sehzeichen des Landolt-Tests(links: 1.Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang).....	109
Abbildung 32:	Boxplots zur durchschnittlichen Antwortzeit [s] des 1. Testdurchganges auf die verschiedenen Antwortkategorien des FrACT _k	114
Abbildung 33:	Boxplots zur durchschnittlichen Antwortzeit [s] des 1. Testdurchganges auf die verschiedenen Antwortkategorien des FrACT _h	114

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abmessungen der Tübingen Landolt Chart "high VA"	21
Tabelle 2:	Leucht- und Umfeldleuchtdichten der Testmethoden [cd/m ²]	22
Tabelle 3:	Nullhypothesen und gegenübergestellte Alternativhypothesen zum Vergleich der Testmethoden	32
Tabelle 4:	Nullhypothesen und gegenübergestellte Alternativhypothesen zur Test-Retest Reliabilität der Testdauern	32
Tabelle 5:	Median der Differenzen, 2,5%- und 97,5%-Quantile der Differenzen der Bewertungen durch Probanden und Untersucher, aus den Sehtests des FrACT	36
Tabelle 6:	Zusammenfassung der Probandenbemerkungen zu den zwei Eingabemethoden des FrACT	36
Tabelle 7:	Zusammenfassung der Untersucherbemerkungen zu den zwei	37
Tabelle 8:	Median der Differenzen, 2,5 %- und 97,5 %-Quantile aus den Bewertungen der Sehtests durch Probanden und Untersucher	41
Tabelle 9:	Zusammenfassung der Probandenbemerkungen zu ETDRS- und Landoltringtafeln	42
Tabelle 10:	Zusammenfassung der Untersucherbemerkungen zu ETDRS- und Landoltringtafeln	42
Tabelle 11:	Median, 2,5 %- und 97,5 % Quantile der einzelnen Testdurchgänge der Sehtestmethoden	52
Tabelle 12:	Median, 2,5 %- und 97,5 % Quantile der durchschnittlichen Testdauern [s] pro Optotype der einzelnen Testdurchgänge der Sehtestmethoden	55
Tabelle 13:	Mit Shapiro-Wilk-Test ermittelte p-Werte der einzelnen Bewertungsgruppen	103
Tabelle 14:	Mit Shapiro-Wilk-Test ermittelte p-Werte der absoluten Testdauern [s] der Sehtestmethoden	106
Tabelle 15:	Mit Shapiro-Wilk-Test ermittelte p-Werte der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype [s] der Sehtestmethoden	108
Tabelle 16:	Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots zur subjektiven Bewertung der Sehtestmethoden	109
Tabelle 17:	Dargestellte Maßzahlen der Boxplots zur subjektiven Bewertung der Sehtestmethoden	110
Tabelle 18:	Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots der absoluten Testdauer [s] der verglichenen Sehtestmethoden	111
Tabelle 19:	Dargestellte Maßzahlen der Boxplots der absoluten Testdauer des 1. Testdurchganges [s]	111
Tabelle 20:	Dargestellte Maßzahlen der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype des 1. Testdurchganges [s]	112

Tabelle 21:	Maßzahlen aus dem Bland-Altman-Plot der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype [s] des 1. Testdurchganges des Landoltring- und ETDRS-Tests.....	112
Tabelle 22:	Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots der absoluten Testdauer [s] des 1. und 2. Testdurchganges	113
Tabelle 23:	Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype [s] des 1. und 2. Testdurchganges.....	113

Anhang

A Synopsis

1.1	Title	Comparison of the Freiburg Visual Acuity Test (FrACT) with ETDRS- and Landolt Ring charts
1.2	Subtitle	Analysis of examinees' / examiner's subjective rating and of test durations
2.	Acronym	FEL_SubDur_Is
3.	Methods, Technical Requirements	<p>3.1 FrACT (internet version 3.8.1)</p> <p>3.1.1 Haptic Landolt Ring device (FrACT_h)</p> <p>3.1.2 Modified keypad with Landolt Ring symbols (FrACT_k)</p> <p>3.2 ETDRS Visual Acuity Tester (Steinbeis Transferzentrum Biomedizinische Optik, Tübingen/Germany)</p> <p>3.3 Landoltring chart (Visus GmbH, Stuttgart/Germany)</p> <p>3.4 VISUCAT monitor with single optotype display(numbers; Argus Individuell Optic GmbH, Putzbrunn/Germany)</p> <p>3.5 Room illuminance level 220 lx, assessed with digital luxmeter (Peak Tech 5025, Peak Tech Prüf - und Messtechnik GmbH, Ahrensburg/Germany)</p> <p>3.6 Laptopdisplay (TravelMate, Acer, 8372 Taipeh/China):</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Luminance level 151 cd/m², surround luminance level 53 cd/m², assessed with luminance meter (IS-110 Laptop Minolta, Tokyo/Japan) <p>3.7 ETDRS Visual Acuity Tester:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Luminance level: 237 cd/m², surround luminance level 57 cd/m² <p>3.8 Landoltring Chart:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Luminance level: 236 cd/m², surround luminance level 57 cd/m² <p>3.9 VISUCAT:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Luminance level: 336 cd/m², surround luminance level 52 cd/m² <p>3.10 Visual analogue scales (VAS) for assessment of examinees' and examiner's subjective ratings</p> <p>3.11 Stopwatch (Apple iPhone 4S, Cupertino CA/USA)</p> <p>3.12 Laser Rangefinder (GLM 80 Professional, Bosch GmbH, Stuttgart/Germany)</p>
4.	Principal Investigator	Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer
5.	Examiners	Isabel Schöllhorn, Jacqueline Mann
6.	Study Period	April-July 2014: measurement period July-October 2014: evaluation and completion of the Bachelor thesis
7.	Primary Objective	<p>7.1 Examinee's / examiner's subjective ratings</p> <p>7.1.1 Comparison between FrACT_h and FrACT_k, using box & whisker plots for analysis of the VAS results</p> <p>7.2 Test duration:</p> <p>7.2.1 Inter-test agreement between FrACT_h and FrACT_k</p> <p>7.2.2 Test-retest reliability (→ "learning") of FrACT_h and FrACT_k, visualized by Bland-Altman plots</p>
8.	Secondary Objective	<p>8.1 Examinees' / examiner's subjective ratings</p> <p>8.1.1 Comparison between <i>all</i> visual acuity tests, using box & whisker plots for analysis of the VAS results</p> <p>8.2 Test duration:</p> <p>8.2.1 Inter-test agreement between <i>all</i> visual acuity tests</p> <p>8.2.2 Test-retest reliability (→ "learning") of <i>all</i> visual acuity tests, visualized by Bland-Altman plots</p>

9. Primary Hypothesis	<ul style="list-style-type: none"> Examinees' and examiner's ratings are identical between $FrACT_h$ and $FrACT_k$ Test durations for $FrACT_h$ and $FrACT_k$ are identical Test durations for the first and second sessions of $FrACT_h$ and $FrACT_k$ are identical
10. Secondary Hypothesis	<ul style="list-style-type: none"> Examinees' and examiner's ratings are identical between <i>all</i> visual acuity tests Test durations for <i>all</i> visual acuity tests are identical Test durations for the first and second sessions of <i>all</i> visual acuity tests are identical
11. Study Design	Explorative study
12. Study Population	Pilot study with 24 examinees
13. Inclusion Criteria	13.1. Age ≥ 18 years 13.2. Minimum distant visual acuity (without/with correction) 0.2 (Visucate, single letter optotypes [numbers], initial session). As long as minimum distant visual acuity limits are exceeded, test runs <i>without</i> optical corrections are preferred in order to enhance the spectrum/variety of tested visual acuity values 13.3. Ametropia: 13.3.1. Maximum myopia sph -2.00 dpt 13.3.2. Maximum hyperopia sph +5.50 dpt 13.3.3. Maximum astigmatism cyl 2.5 dpt 13.4. Informed consent
14. Recruitment	Aalen University students (except students of ophthalmic optics terms 2-7)
15. Study Course	15.1. Determination of the leading eye (Rosenbach sighting test) 15.2. Randomization of examinations with regard to the leading/ non-leading eye 15.3. For assessment of the visual acuity as an inclusion/exclusion criterion, the first session of the VISUCAT test (argus individuell optic GmbH Putzbrunn/Germany) with single optotype number charts will be used 15.4. Examinees will pass each visual acuity test twice (excluding VISUCAT); eight position Landoltring 15.5. (Balanced) Randomization of the sequence of the visual acuity tests (with the exception of the two initial VISUCAT sessions, which are necessary concerning the inclusion criteria) is maintained by a pre-specified randomization list. All examinees will be briefed with respect to each visual acuity test 15.6. A forced-choice procedure without feedback regarding correct/false response will be applied for each acuity test
16. Data Analysis	16.1. Visualization: Box and whisker plots (VAS); Bland-Altman plots (test duration) 16.2. Statistical Software: R, Version 3.1.0 (2014-04-10) Prozess und Statistik, Dormagen
17. Quality Management	17.1. Continuous e-mail contact between principal investigator and the examiners 17.2. Regular meetings in biweekly sequence (principal investigator and the examiners)
18. Time Planned	April 2014–October 2014

B Aufgabenverteilung

1. Termin:

Untersuchungen Prof. Dr. med. Ulrich Schiefer (15 Minuten):

1. Augenfehlstellungen
2. Normale Augenbeweglichkeit
3. Pupillen
4. Vorderer Augenabschnitt
5. Direkte / Indirekte Ophthalmoskopie

Untersuchungen Isabel Schöllhorn und Jacqueline Mann (15 Minuten):

1. Augeninnendruckmessung
2. Räumliches Sehen (Stereo - Lang – Test)
3. Fernvisus ohne und mit Korrektur
4. Getragene Brillenkorrektur
5. Führungsauge (Rosenbach'scher Visierversuch)

2. Termin:

Untersuchungen Isabel Schöllhorn und Jacqueline Mann (45 Minuten):

1. Sehschärfebestimmung mit verschiedenen Testverfahren nach Reihenfolge der Permutationskette
2. Messung der Dauer der Testverfahren
3. Bewertung der Testverfahren durch den Probanden und Untersucher unter Verwendung von visuellen Analogskalen

C Notwendige Unterlagen zur Studienteilnahme

C.1 Einwilligungserklärung zum Datenschutz

Vergleich des Freiburger Visual Acuity Test (FrACT) mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln

- a) Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität
- b) Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung

Einwilligungserklärung zum Datenschutz

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,
bei wissenschaftlichen Studien werden persönliche Daten und medizinische Befunde über Sie erhoben. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser studienbezogenen Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen. Die Teilnahme an der o.g. Studie setzt folgende Einwilligung voraus:

Hiermit willige ich ein,
dass zum Zwecke der Studie „**Vergleich des Freiburger Visual Acuity Test (FrACT) mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln**“

- a) Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität**
- b) Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung**

folgende personenbezogene Daten von mir erhoben und nur pseudonymisiert (also mit einem Verschlüsselungscode versehen) gespeichert werden:

1. Geschlecht
2. Geburtsdatum
3. Sehschärfe
4. Führungsauge
5. Brillenkorrektur
6. Augenbezogene Befunde (s. Dok. Augenbefund)
7. Augen-/Allgemeinvorgeschichte (s. Dok. Anamnesebogen)

Diese Daten dürfen nur pseudonymisiert auf elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und verarbeitet werden. Ich bin auch damit einverstanden, dass die Studienergebnisse in anonymer Form, die keinen Rückschluss auf meine Person zulassen, veröffentlicht werden.

Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne nachteilige Folgen für mich zurückziehen und einer Weiterverarbeitung meiner Daten mit Wirkung für die Zukunft jederzeit widersprechen und ihre Löschung bzw. Vernichtung verlangen kann.

- ☐ Ich willige des Weiteren ein, dass meine Kontaktdaten elektronisch gespeichert werden zum Zwecke der Kontaktaufnahme für weitere Studien, für die ich als Proband in Frage käme. Dieser Speicherung und der Kontaktaufnahme kann ich jederzeit widersprechen.

- Name, Vorname: _____
- Straße & Haus-Nr.: _____
- Telefon: _____
- E-Mail: _____

Ich bevorzuge die Kontaktaufnahme via ☐ Post ☐ Telefon ☐ E-Mail

Ort, Datum

Unterschrift des/der Teilnehmers/in

C.2 Einwilligungserklärung zur Durchführung der Versuche**Vergleich des Freiburger Visual Acuity Test (FrACT)
mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln**

- 1) Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität
- 2) Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung

Einwilligungserklärung zur Durchführung der Versuche

Hiermit willige ich ein,
dass an mir zum Zwecke der Studie „**Vergleich des Freiburger Visual Acuity Test (FrACT)
mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln**“

- a) Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität
- b) Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung

folgende Messungen/Untersuchungen durchgeführt werden dürfen:

1. Bestimmung der Sehschärfe (mit und ohne Brille)
2. Bestimmung des Führungsauges (Rosenbach'scher Visierversuch)
3. Vermessung der getragenen Brille
4. Test des räumlichen Sehvermögens
5. Spaltlampenuntersuchung (vorderer Augenabschnitt)
6. Spiegeln des Augenhintergrundes (Netzhaut)
7. Messung des Augeninnendrucks (mit berührungslosem Druckmessgerät)
8. Vergleich der Pupillengröße R/L
9. Messung zum Pupillenspiel R/L
10. Messung zur Augenstellung
11. Messung zur Augenbeweglichkeit

Ort, Datum

Unterschrift des/der Teilnehmers/in

C.3 Probandenaufklärung

Vergleich des Freiburger Visual Acuity Test (FrACT) mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln

- 1) Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität
- 2) Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung

Probandenaufklärung

Sehr geehrte Probandin, sehr geehrter Proband,
die Studie „**Vergleich des Freiburger Visual Acuity Test (FrACT) mit ETDRS- und Landoltring-Sehzeichentafeln**“

- a) Analyse der Übereinstimmung der Visusergebnisse und deren Retest-Reliabilität
- b) Analyse der Untersuchungsdauer und der patienten- sowie untersucherseitigen subjektiven Einschätzung

führen wir durch, um zu messen, inwiefern sich Tests zur Sehschärfestimmung unterscheiden.

Überblick

Die Tests zur Bestimmung der Sehschärfe erfolgen mit zwei Sehzeichentafeln und einem handelsüblichen Computer-Monitor und zwar entweder mit einer Eingabetastatur oder einem dreh- und fühlbaren Ring. Es werden insgesamt 4 Tests dargeboten. Die Reihenfolge ist variabel.

Fragestellung

Teil A der Studie untersucht die Ergebnisse der Sehschärfestimmung der verschiedenen Tests. Hier geht es darum, wie gut die Ergebnisse der Sehschärfe jedes einzelnen Tests übereinstimmen. Des Weiteren wird hier untersucht, wie gut man die unterschiedlichen Messmethoden wiederholen kann und wie anfällig sie für Störungen und Fehler sind. In Teil B geht es darum zu ermitteln, wie Sie als Proband mit den einzelnen Tests zurechtgekommen sind und wie Sie sich dabei selbst einschätzen. Neben Ihrer Einschätzung wird auch von einem der Untersucher eine subjektive Bewertung erstellt. Zudem werden hier für jeden Test die Durchlaufzeiten festgehalten, um ermitteln zu können ob ein Lerneffekt aufgetreten ist.

Hintergrund

Zur Bestimmung der Sehschärfe können verschiedene Tests verwendet werden. Hierfür können Sehzeichentafeln mit Buchstaben, Zahlen oder Landoltringen oder auch Computerprogramme wie dem Freiburger Visual Acuity Test verwendet werden. Es wird untersucht in wie weit beziehungsweise ob und in welchem Umfang sich die Ergebnisse der einzelnen Tests unterscheiden. Dies ist wichtig um einschätzen zu können welche Tests bei Untersuchungen die zuverlässigsten Ergebnisse liefern und welche eher für einen Überblick verwendet werden können. Zudem wird untersucht welche Rolle die Handhabung und Durchführung der verschiedenen Tests im Bezug auf die Ergebnisse spielen. Interessant ist hierbei ob die Ergebnisse besser sind wenn die einzelnen Sehzeichen vorgelesen werden oder von Ihnen manuell eingegeben werden. Dies wird durch Zeitmessung und eine Umfrage an Sie und den Untersucher ermittelt.

Ablauf der Studie im Detail

Allgemein

Bitte versuchen Sie bei allen vier Tests ruhig auf dem Stuhl zu sitzen. Vermeiden Sie starke Kopfbewegungen nach vorne bzw. hinten. Diese können die Messergebnisse beeinflussen. Antworten Sie bitte zügig und ohne Ihre Augen zusammenzukneifen.

ETDRS-Sehzeichentafel

Auf der sogenannten ETDRS-Sehzeichentafel (Early Treatment Diabetic Retinopathy Study) (Abb.1) sind Buchstabenreihen aufgedruckt, deren Größe von oben nach unten abnimmt.

Ihre Aufgabe ist es, dem Untersucher alle Buchstaben, Zeile für Zeile von links oben nach rechts unten, vorzulesen. Wenn Sie Buchstaben nicht mehr erkennen können, müssen Sie sich für einen Buchstaben entscheiden. Warten Sie bitte auf Anweisung des Untersuchers, bis er den Test beendet.



Abbildung 1: ETDRS-Sehzeichentafel

Landoltring-Sehzeichentafel

Auf der Landoltring-Sehzeichentafel (Abb. 2) sehen Sie Ringe mit Öffnungen an verschiedenen Positionen, deren Größe von oben nach unten abnimmt.

Ihre Aufgabe ist es, dem Untersucher alle Positionen der Ringöffnungen, Zeile für Zeile von links oben nach rechts unten, zu nennen. Wenn Sie die Position einer Ringöffnung nicht mehr erkennen können, müssen Sie sich für eine Position entscheiden. Warten Sie bitte auf Anweisung des Untersuchers, bis er den Test beendet.

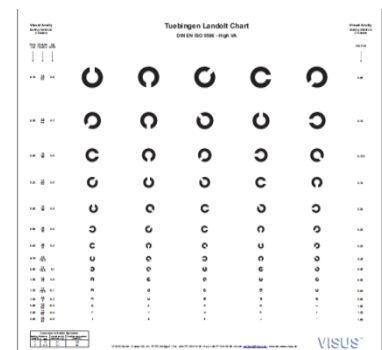


Abbildung 2: Landoltring-Sehzeichentafel

FrACT

Bei dem Sehtest am Computer handelt es sich um den Freiburger Visual Acuity Test (FrACT). Hierbei erscheint auf dem Monitor jeweils ein Landoltring. Ihre Aufgabe besteht darin, die

Position der Ringöffnungen mit zwei verschiedenen Eingabegeräten anzugeben. Das eine Gerät ähnelt dem Nummernblock einer handelsüblichen Computertastatur, bei dem Landoltringe aufgedruckt sind. Das andere Gerät ist ein dreh- und fühlbarer Landoltring, bei dem die Position durch einen Tastendruck bestätigt wird. Es werden 18 aufeinander folgende Landoltringe angezeigt, deren Öffnungsposition und Größe variiert.

FrACT mit Tastenfeld

Bei dem FrACT mit Tastenfeld ist für jede Öffnungsposition eine Taste vorgesehen (Abb.3). Ihre Aufgabe ist es, die jeweilige Position der Ringöffnung mit der entsprechenden Taste zu bestätigen. Wenn Sie die Position einer Ringöffnung nicht mehr erkennen können, müssen Sie sich für eine Position entscheiden.



Abbildung 3: FrACT mit Tastenfeld

FrACT mit haptischem Landoltring

Der haptische Landoltring auf dem Eingabegerät (Abb.4) lässt sich entsprechend der Öffnungspositionen der Ringe auf dem Monitor drehen. Ihre Aufgabe ist es, den Landoltring auf dem Eingabegerät entsprechend der Öffnungsposition des Rings auf dem Monitor zu drehen und die Position mit einer der beiden blauen Tasten zu bestätigen. Es ist dabei gleichgültig, welche der blauen Tasten gedrückt wird. Wenn Sie die Position einer Ringöffnung nicht mehr erkennen können, müssen Sie sich für eine Position entscheiden.



Abbildung 4: FrACT mit haptischem Landoltring

Voruntersuchungen

Vor den Tests werden folgende Voruntersuchungen von Pro. Dr. med. Ulrich Schiefer durchgeführt:

- Augenbeweglichkeitsuntersuchung
- Untersuchung der Augenstellung
- Untersuchung zum Pupillenspiel
- Vergleich der Pupillengröße
- Spiegeln des Augenhintergrundes
- Spaltlampenuntersuchung (vorderer Augenabschnitt)

Die Studentinnen führen folgende Messungen durch:

- Bestimmung der Sehschärfe
- Bestimmung des Führungsauges (Rosenbach'scher Visierversuch)
- Test des räumlichen Sehens
- Vermessung der getragenen Brille
- Messung des Augeninnendrucks (mit berührungslosem Druckmessgerät)

Nebenwirkungen

Es sind keine Nebenwirkungen durch die Tests bekannt.

Risiken

Durch die Spaltlampenuntersuchung kann es zu einer kurzzeitigen Blendung kommen ansonsten sind für die Untersuchungsabläufe keine Risiken bekannt.

Zeitaufwand

Der Zeitaufwand verteilt sich auf zwei Termine. Der erste ist definiert durch die Voruntersuchungen bei Prof. Dr. med Ulrich Schiefer und die Anamnese durch die Studentinnen. Die Messungen bei Prof. Dr. med Ulrich Schiefer dauern ca. 15 Minuten, die Anamnese, Sehschärfestimmungen und Augeninnendruckmessungen durch die Studentinnen ist ebenfalls mit 15 Minuten veranschlagt.

Während des zweiten Termins werden die eigentlichen Tests zur Sehschärfestimmung durchgeführt. Dies dauert ca. 45 Minuten.

Das Aufklärungsgespräch hat geführt:



Prof. Dr. med. Ulrich SCHIEFER
ulrich.schiefer@htw-aalen.de

Leiter Kompetenzzentrum "Vision Research"
Hochschule Aalen
Studiengang Augenoptik / Augenoptik – Hörakustik
Anton-Huber-Straße 23 (Gebäude G4)
D-73430 Aalen

Tel.: + 49 - 7361 576-4606
Fax: + 49 - 7361 576-4685

www.vision-research.de
www.htw-aalen.de

Oberarzt
Abteilung für Augenheilkunde
Universität Tübingen
Schleichstr. 12-16
D-72076 Tübingen

Tel.: + 49 - 7071 298-7429
Fax: + 49 - 7071 29 -5038

www.sehbahn.de
www.uni-tuebingen.de

Erklärung der aufklärenden Person:

Hiermit erkläre ich, den/die o.g. Teilnehmer/in am _____ über
Wesen, Bedeutung, Tragweite und Risiken der o.g. Studie mündlich und schriftlich aufgeklärt
und ihm/ihr eine Ausfertigung dieser Probandenaufklärung sowie der Einwilligungserklärung
übergeben zu haben.

Ort, Datum

Unterschrift Prof. Dr. med Ulrich Schiefer

D Dokumentationsbögen der Voruntersuchung

Die Probanden durften nur an der Studie teilnehmen, wenn sie bestimmte Kriterien erfüllten. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden in einem Dokument zusammengefasst. Um die nötigen Informationen zu erhalten wurde ein Anamnesebogen und ein Bogen zum Augenzustand ausgefüllt.

D.1 Anamnesebogen

FEL_crf1_Anamnesebogen

1. Augenanamnese	Ja	Nein	Falls ja, ab welchem Lebensjahr bzw. wann wurde Erstdiagnose gestellt?	Welches Auge ist betroffen? R/L	Ergänzungen
1. Brillenträger?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> . Lj.		<hr/> <hr/>
2. Kontaktlinsenträger?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> . Lj		<hr/> <hr/>
3. Sehen Sie auf beiden Augen mit Korrektur gleich gut?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<hr/> <hr/>
4. Schielen bekannt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> . Lj		<hr/> <hr/>
5. Sind Sie Schwachsichtig? (Amblyopie)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
6. Augenbewegungsstörungen bzw. Doppelbilder?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<hr/> <hr/>
7. Grauer Star (Katarakt)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
8. Grüner Star (Glaukom)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> <input type="text"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/>

1. Augenanamnese	Ja	Nein	Falls ja, ab welchem Lebensjahr bzw. wann wurde Erstdiagnose gestellt?	Welches Auge ist betroffen? R/L	Ergänzungen
9. Netzhauterkrankungen? (z.B. Netzhautablösung,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/> <hr/>
10. Makulaerkrankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
11. Schwere chronische Augenentzündungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
12. Augenverletzungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
13. Augen-Operationen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
14. Augenmedikamente? (Tropfen/Salben)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> . Lj	R <input type="checkbox"/> L <input type="checkbox"/>	<hr/> <hr/>
15. Sind in Ihrer Familie Augenerkrankungen bekannt? (z.B. hohe Fehlsichtigkeiten, Glaukom [Grüner Star], Katarakt [Grauer Star], Netzhautablösung, Farbsehstörungen,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>

2. Allgemeinanamnese	Ja	Nein	Falls ja, ab welchem Lebensjahr bzw. wann wurde Erstdiagnose gestellt?	Ergänzungen
3. Herz- Kreislauferkrankung?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>
4. Andere Organerkrankung? (z.B. Leber, Niere, Magen,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<hr/> <hr/>
5. Neurologische Erkrankungen? (z.B. Schlaganfall, Epilepsie,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>
6. Stoffwechselerkrankung? (z.B. Blutzucker, Schilddrüse, Fettstoffwechsel,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>
7. Seelische Erkrankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>
8. Schwangerschaft?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<hr/> <hr/>
9. Medikamenteneinnahme?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>
10. Medikamente, die die Reaktionszeit beeinflussen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>
11. Andere Erkankungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/> . Lj	<hr/> <hr/>

2. Allgemeinanamnese	Ja	Nein	Falls ja, ab welchem Lebensjahr bzw. wann wurde Erstdiagnose gestellt?	Ergänzungen
12. Haben Sie Allergien?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<hr/> <hr/>

Sonstige Anmerkungen:

D.2 Augenbefund

FEL_crf2_Augenbefund

Visus / Führungsverhalten	
1. Fern-Visus ohne Korrektur (geprüft mit einem Sehzeichenmonitor mit Zahlenreihen (VISUCAT, argus individuell optic GmbH, Putzbrunn/Germany) in 5,70 m Prüferentfernung)	R: <input type="text"/> , <input type="text"/> L: <input type="text"/> , <input type="text"/>
2. Fern-Visus mit Korrektur (eigene Brille, wenn vorhanden) (geprüft mit einem Sehzeichenmonitor mit Zahlenreihen (VISUCAT, argus individuell optic GmbH, Putzbrunn/Germany) in 5,70 m Prüferentfernung)	R: <input type="text"/> , <input type="text"/> L: <input type="text"/> , <input type="text"/>
3. Eigene Brillenkorrektur: (Vorzeichen bei Sphäre einkreisen ±)	R: sph ± <input type="text"/> <input type="text"/> , <input type="text"/> <input type="text"/> dpt cyl - <input type="text"/> <input type="text"/> , <input type="text"/> <input type="text"/> dpt A <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> ° L: sph ± <input type="text"/> <input type="text"/> , <input type="text"/> <input type="text"/> dpt cyl - <input type="text"/> <input type="text"/> , <input type="text"/> <input type="text"/> dpt A <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> °
4. Führungsauge (Rosenbach'scher Visierversuch):	R: <input type="checkbox"/> L: <input type="checkbox"/> nicht eindeutig <input type="checkbox"/>
5. Messung mit Korrektur (eigene Brille) in 4m Prüferentfernung	JA: <input type="checkbox"/> NEIN: <input type="checkbox"/>
6. Für Messung verwendetes Auge	R: <input type="checkbox"/> L: <input type="checkbox"/>

Befunde	Ja	Nein	Wenn nicht regelrecht, welches Auge betroffen?		Bemerkungen/Ergänzungen
			R	L	
1. Augeninnendruck? (Non-contact Tonometer [Tomey, FT - 1000, Nagoya / Japan])					R: _____ mmHg Uhrzeit: _____ L: _____ mmHg Uhrzeit: _____
2. Räumliches Sehen? (Stereo - Lang - Test)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; display: inline-block;"></div> "
3. Augenfehlstellungen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			_____ _____
4. Normale Augenbeweglichkeit?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____ _____
5. Pupillen					
Anisokorie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			R>L <input type="checkbox"/> _____ R<L <input type="checkbox"/> _____
Dilatationsdefizit?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____ _____
Kontraktionsdefizit?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____ _____
Relativer afferenter Pupillendefekt? (RAPD swinging flashlight test)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Quantitativ: <input type="checkbox"/> , <input type="checkbox"/> log Einheiten _____

Befunde	Rechts		Links	
6. Vorderer Augenabschnitt				
Brechende Medien klar?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
7. Intraokular reizfrei?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
8. Augenhintergrund (direkte / indirekte Ophthalmoskopie)				
Papille randscharf?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
Papille vital gefärbt?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
9. Zentrale Exkavation?	Ja <input type="checkbox"/> CDR: _____	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/> CDR: _____	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
10. ISNT Regel erfüllt?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
11. Makula normal?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
Zentrale Fixation vorhanden?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
12. Gefäße normal?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				
13. Peripherie normal?	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>	Ja <input type="checkbox"/>	Nein <input type="checkbox"/>
Auffälligkeiten und Bemerkungen				

D.3 Probandenkriterien

Einschluss- und Ausschlusskriterien für die Teilnahme an den wissenschaftlichen Studien an der HTW Aalen FEL_IsJa

Einschlusskriterien:

- ☐ Mindestalter: 18 Jahre
- ☐ Vorliegen einer unterzeichneten Einverständniserklärung
Brille: sphärische Fehlsichtigkeit max.: - 2.00 dpt bis +5.50 dpt
- ☐ Brille: zylindrische Fehlsichtigkeit max.: 0 dpt bis 2.50 dpt
- ☐ Fern-Visus des untersuchten Auges ≥ 0.2 (Messung mit Visucal (VISUCAT argus individuell optic GmbH Putzbrunn/Germany) auf 5,70 m Beobachtungsabstand)

Ausschlusskriterien:

Allgemein:

- ☐ Epilepsie/psychiatrische Erkrankungen
- ☐ Medikamente, die Reaktionszeit und / oder die Sehschärfenbestimmung bzw. die Brechkraft des Auges beeinflussen

Ophthalmologisch:

- ☐ Amblyopie (Schwachsichtigkeit)
- ☐ Schielen
- ☐ Glaukom (grüner Star)
- ☐ Augenzittern (Nystagmus)
- ☐ Diabetische Retinopathie (Blutzuckerbedingte Netzhauterkrankung)
- ☐ sehr trockene Augen (Sicca-Symptomatik)
- ☐ Augen-/Netzhautoperationen, die weniger als 3 Monate zurückliegen
- ☐ infektiöse Erkrankungen (Bindehautentzündung, Hornhautentzündung, Aderhautentzündung)
- ☐ pupillenverengende Medikamente
- ☐ ausgeprägte Augenverletzungen
- ☐ andere Augenerkrankungen, die die Abbildungsqualität beeinflussen
- ☐ Makulaerkrankungen
- ☐ Albinismus

Erfüllt der Proband alle Kriterien, um an der Studie teilzunehmen?

Ja ☐ Nein ☐

E Randomisierungsliste

<http://repl.it/>

```
%w(A B C D).permutation.to_a.each { |x| y=x.shuffle; if y.first==x.last then y.reverse! end; print x.join,"  
",y.join,"\n" }
```

1. ABCD ABCD
2. ABDC ABDC
3. ACBD ABDC
4. ACDB ACBD
5. ADBC DACB
6. ADCB ADCB
7. BACD BACD
8. BADC BADC
9. BCAD CABD
10. BCDA BCAD
11. BDAC DBAC
12. BDCA BDCA
13. CABD ACDB
14. CADB CABD
15. CBAD BACD
16. CBDA BCAD
17. CDAB DCAB
18. CDBA DACB
19. DABC DBCA
20. DACB ACDB
21. DBAC DCAB
22. DBCA BCDA
23. DCAB CADB
24. DCBA CBDA

F Dokumentationsbögen der Visustest-Ergebnisse

Die Messergebnisse wurden in drei verschiedene Bögen eingetragen. Ein Dokument umfasst die gemessenen Testdauern und subjektiven Bewertungen. Auf den zwei anderen Bögen sind die Sehzeichen der ETDRS- und Landoltringtafeln abgebildet, damit während der Messungen eingetragen werden konnte, ob die Testperson das Sehzeichen richtig oder falsch benannt hat.

F.1 Bogen Ergebnisse Testdauer und subjektive Bewertungen

FEL_crf3_Untersuchung_SCHÖLLHORN							
1. Zuordnung der Teste A → ETDRS Tafel B → FrACT Nummernblock C → Landoltring Tafel D → FrACT haptischer Landoltring							
2. 1. Testdurchlauf: Permutationskette Nr: _____							
Permutation				Testdauer			Bemerkungen
				min	s	ms	
A	B	C	D				
A	B	C	D				
A	B	C	D				
A	B	C	D				
3. 2. Testdurchlauf:							
Permutation				Testdauer			Bemerkungen
				min	s	ms	
A	B	C	D				
A	B	C	D				
A	B	C	D				
A	B	C	D				

Bewertung des Untersuchers

ETDRS Tafel:

schlecht

zurechtgekommen

**gut**

zurechtgekommen



___ /100

Bemerkung: _____

Landoltring Tafel:

schlecht

zurechtgekommen

**gut**

zurechtgekommen



___ /100

Bemerkung: _____

FrACT Nummernblock:

schlecht

zurechtgekommen

**gut**

zurechtgekommen



___ /100

Bemerkung: _____

FrACT dreh- und fühlbarer Landoltring:

schlecht

zurechtgekommen

**gut**

zurechtgekommen



___ /100

Bemerkung: _____

Bitte teilen Sie uns mit, wie zufrieden Sie mit den einzelnen Tests waren, indem Sie mit einem senkrechten Strich, auf der waagerechten Linie, ihre Bewertung abgeben. Haben Sie sich während des Tests wohl gefühlt? Dann bewerten Sie ihn gut. Kamen Sie mit einem der Tests nicht gut zurecht? Dann bewerten Sie ihn bitte schlecht.

Bemerkung: _____

Bemerkung: _____

FrACT Nummernblock:

Mit dem Test
bin ich **schlecht**
zurechtgekommen



Mit dem Test
bin ich **gut**
zurechtgekommen



___/100

Bemerkung: _____

FrACT dreh- und fühlbarer Landoltring:

Mit dem Test
bin ich **schlecht**
zurechtgekommen



Mit dem Test
bin ich **gut**
zurechtgekommen



___/100

Bemerkung: _____

F.2 ETDRS-Tafeln

FEL_crf3_Untersuchung_ETDRS_1					
<input type="checkbox"/> 1. Testdurchlauf <input type="checkbox"/> 2. Testdurchlauf					
0.10	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> S
0.125	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> H
0.16	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> K
0.20	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> O
0.25	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> V
0.32	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> Z
0.40	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> H
0.50	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> N
0.63	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> C
0.80	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> R
1.00	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> N
1.25	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> C
1.60	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> D
2.00	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> Z
<input checked="" type="checkbox"/> = nicht erkannt					

FEL_crf3_Untersuchung_ETDRS_2

☐ 1. Testdurchlauf

☐ 2. Testdurchlauf

0.10	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> C
0.125	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> V
0.16	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> R
0.20	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> S
0.25	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> Z
0.32	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
0.40	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> K
0.50	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> Z
0.63	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> O
0.80	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> N
1.00	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> H
1.25	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> V
1.60	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> C
2.00	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> R

☒ = nicht erkannt

FEL_crf3_Untersuchung_ETDRS_3

☐ 1. Testdurchlauf

☐ 2. Testdurchlauf

0.10	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> V
0.125	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> C
0.16	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> R
0.20	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> N
0.25	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> C
0.32	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> K
0.40	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> N
0.50	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> H
0.63	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> D
0.80	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> O
1.00	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> Z
1.25	<input type="checkbox"/> V	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> D	<input type="checkbox"/> O
1.60	<input type="checkbox"/> C	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> H	<input type="checkbox"/> K	<input type="checkbox"/> S
2.00	<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> R	<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> K

☒ = nicht erkannt

F.3 Tübingen Landolt Chart

FEL_crf3_Untersuchung_Landolt Chart					
	<input type="checkbox"/> 1. Testdurchlauf	<input type="checkbox"/> 2. Testdurchlauf	<input type="checkbox"/> 3. Testdurchlauf	<input type="checkbox"/> 4. Testdurchlauf	<input type="checkbox"/> 5. Testdurchlauf
0.20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.63	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.70	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0.80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1.60	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

☑ = erkannt

☒ = nicht erkannt

G Prüfung auf Normalverteilung

Für die Prüfung auf Normalverteilung wurde der Shapiro-Wilk-Test verwendet und zusätzlich QQ-Plots erstellt. Im Folgenden sind die p-Werte des Shapiro-Wilk-Tests tabellarisch aufgelistet und die QQ-Plots für die einzelnen Bewertungsgruppen und Testzeiten der verschiedenen Sehtests und Testdurchgänge dargeboten.

G.1 Stichproben der Akzeptanz der Sehtestmethoden

Tabelle 13: Mit Shapiro-Wilk-Test ermittelte p-Werte der einzelnen Bewertungsgruppen

Sehtestmethoden	p-Wert Shapiro-Wilk-Test
ETDRS	
Probanden	0,00009215
Untersucher	0,001996
Landoltringtafel	
Probanden	0,5275
Untersucher	0,09846
FrACT_k	
Probanden	0,001439
Untersucher	0,03938
FrACT_h	
Probanden	0,3168
Untersucher	0,06008

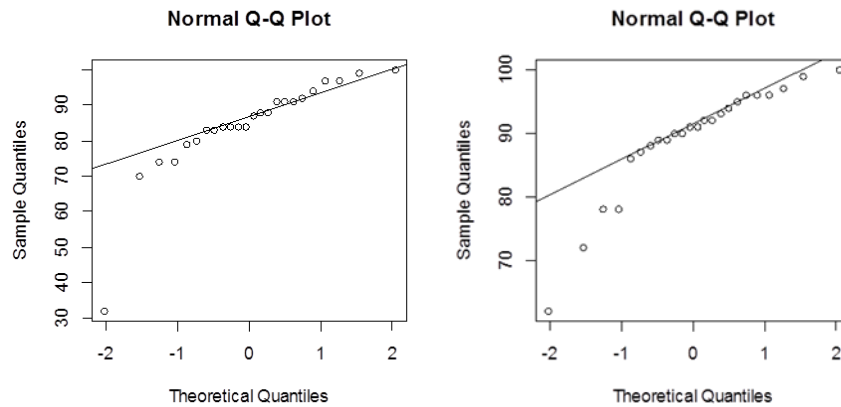


Abbildung 22: QQ-Plot der Beurteilung des ETDRS-Tests (links: Probanden; rechts: Untersucher)

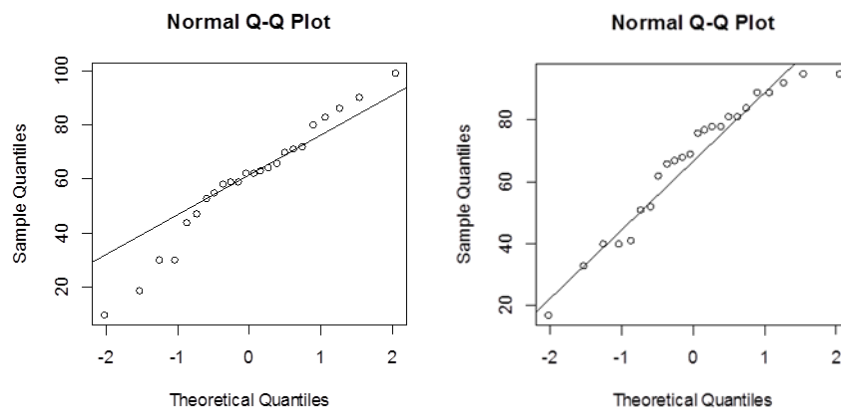


Abbildung 23: QQ-Plot der Beurteilung des Landoltringtafel-Tests (links: Probanden; rechts: Untersucher)

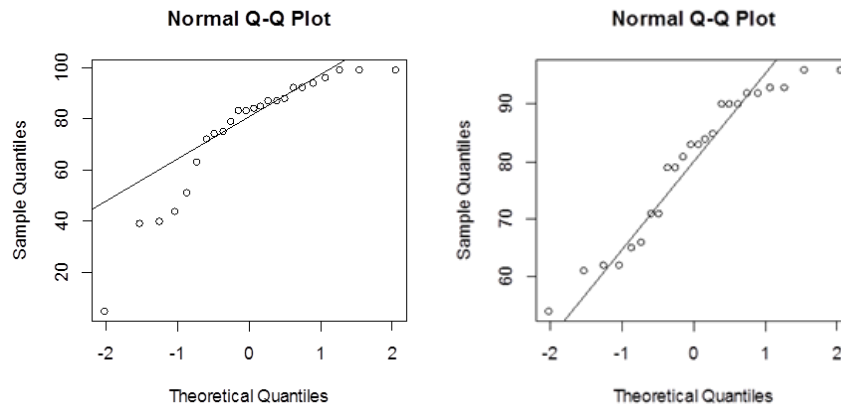


Abbildung 24: QQ-Plot der Beurteilung des $FrACT_k$ (links: Probanden; rechts: Untersucher)

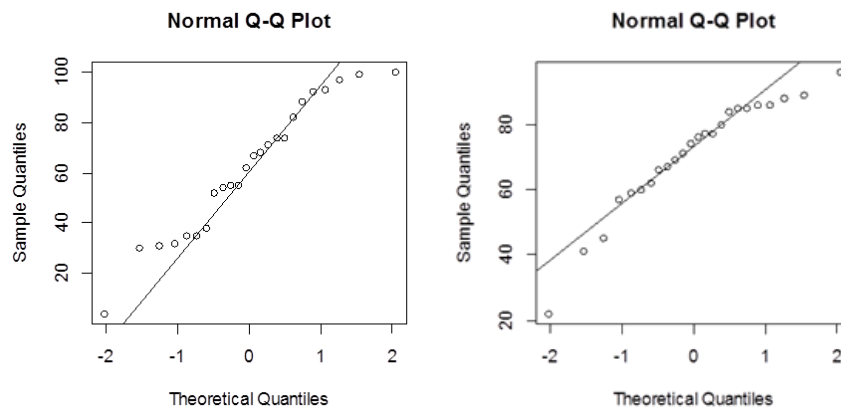


Abbildung 25: QQ-Plot der Beurteilung des $FrACT_h$ (links: Probanden; rechts: Untersucher)

G.2 Stichproben der absoluten Testdauer

Tabelle 14: Mit Shapiro-Wilk-Test ermittelte p-Werte der absoluten Testdauern [s] der Sehtestmethoden

Sehtestmethoden	p-Wert Shapiro-Wilk-Test
ETDRS	
1. Testdurchgang	0,07236
2. Testdurchgang	0,05049
Landoltringtafel	
1. Testdurchgang	0,01401
2. Testdurchgang	0,01035
FrACT_k	
1. Testdurchgang	0,0002261
2. Testdurchgang	0,00009431
FrACT_h	
1. Testdurchgang	0,000002783
2. Testdurchgang	0,0002776

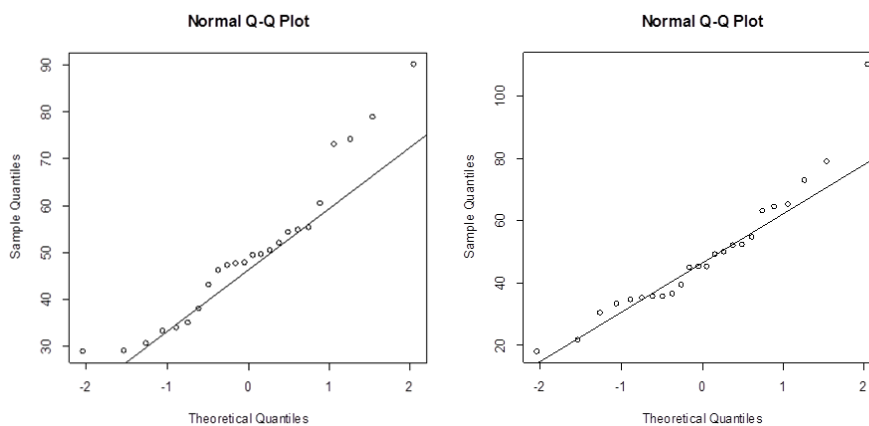


Abbildung 26: QQ-Plot der absoluten Testdauer des ETDRS-Tests (links: 1. Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang)

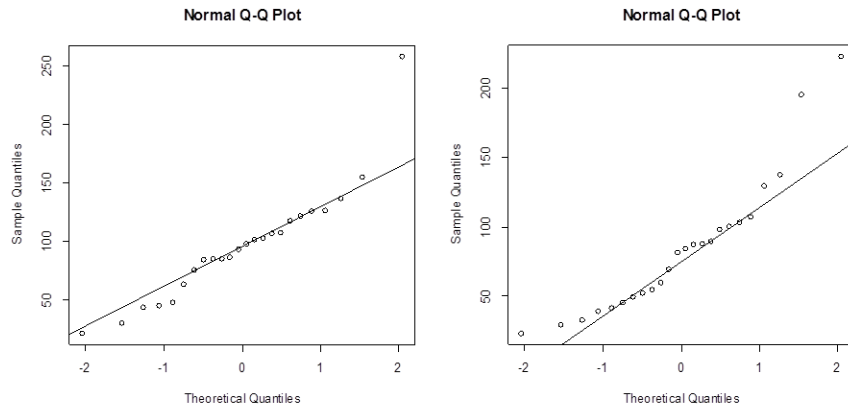


Abbildung 27: QQ-Plot der absoluten Testdauer des Landoltringtafel-Tests (links: 1. Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang)

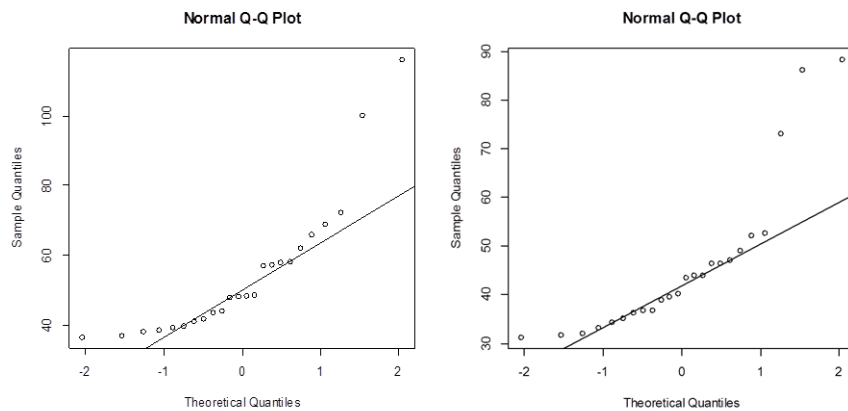


Abbildung 28: QQ-Plot der absoluten Testdauer des FrACTk (links: 1. Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang)

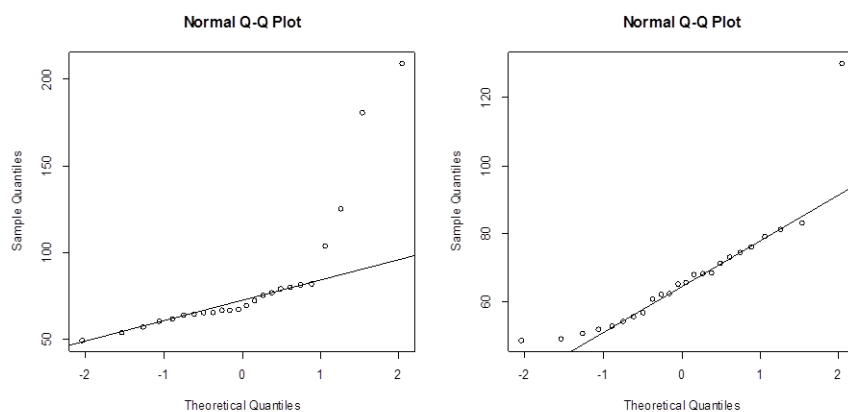


Abbildung 29: QQ-Plot der absoluten Testdauer des FrACT_h (links: 1. Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang)

G.3 Stichproben der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype

Tabelle 15: Mit Shapiro-Wilk-Test ermittelte p -Werte der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype [s] der Sehtestmethoden

Sehtestmethoden	p-Wert Shapiro-Wilk-Test
ETDRS	
1. Testdurchgang	0,5888
2. Testdurchgang	0,0004489
Landoltringtafel	
1. Testdurchgang	0,0006253
2. Testdurchgang	0,008981

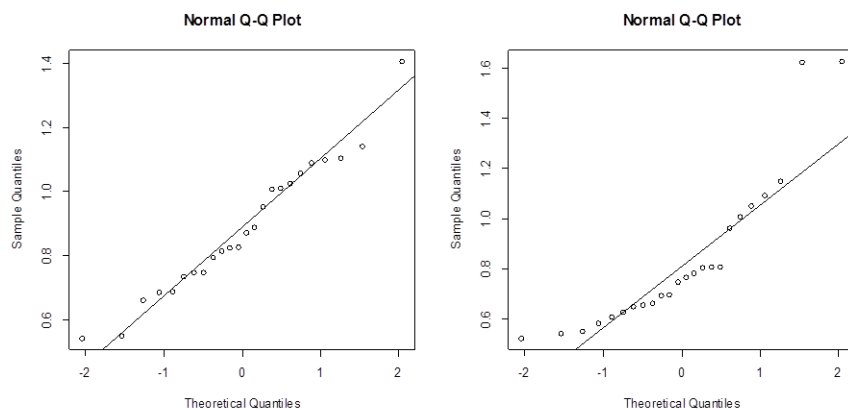


Abbildung 30: QQ-Plot der durchschnittlichen Testdauer pro Sehzeichen des ETDRS-Tests(links: 1. Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang)

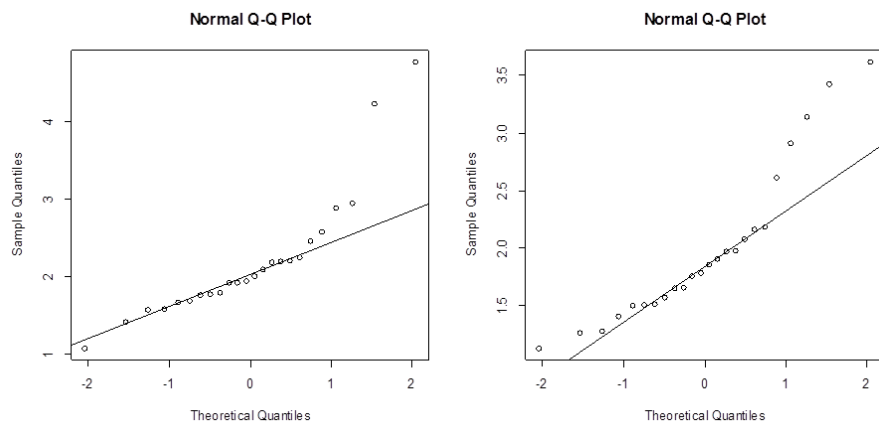


Abbildung 31: QQ-Plot der durchschnittlichen Testdauer pro Sehzeichen des Landolt-Tests(links: 1. Testdurchgang; rechts: 2. Testdurchgang)

H Numerische Ergebnisse

H.1 Beurteilung der Sehtestmethoden

Tabelle 16: Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots zur subjektiven Bewertung der Sehtestmethoden

Sehtestmethoden	Mittelwert der Differenzen	Übereinstimmungsgrenzen
Vergleich Bewertung FrACTk und FrACTh: Probanden	13,42	(-44,73;71,57)
Vergleich Bewertung FrACTk und FrACTh: Untersucher	9	(-18,75;36,75)

Tabelle 17: Dargestellte Maßzahlen der Boxplots zur subjektiven Bewertung der Sehtestmethoden

	ETDRS		ETDRS		Landolttafel		FrACTk		FrACTh	
	Probanden	Untersucher	Probanden	Untersucher	Probanden	Untersucher	Probanden	Untersucher	Probanden	Untersucher
Median	85,5	91	62	72,5	83,5	83	64,5	75		
Minimum	32	62	10	17	5	54	4	22		
Maximum	100	100	99	95	99	96	100	96		
1. Quartil	82,25	87,75	51,5	51,75	69,75	69,75	37,25	61,5		
3. Quartil	91,25	95,25	71,25	81,75	92	90,5	83,5	85		
Untere Grenze Kerbe	82,61	88,59	55,65	62,86	76,35	76,33	49,64	67,45		
Obere Grenze Kerbe	88,39	93,41	68,35	82,14	90,65	89,67	79,36	82,55		
Unterer Whisker	72	79,75	32,38	27,5	50,125	51,88	4	39,75		
Oberer Whisker	100	100	99	95	99	96	100	96		

H.2 Absolute Testdauer der verwendeten Sehtests

Tabelle 18: Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots der absoluten Testdauer [s] der verglichenen Sehtestmethoden

Sehtestmethoden	Mittelwert der Differenzen	Übereinstimmungsgrenzen
FrACT _k - FrACT _h	-26,78	(-76,68;23,12)
Landoltringtafel – ETDRS	46,58	(-26,98;120,14)
FrACT _k – Landoltringtafel	-42,01	(-118,47;34,45)
FrACT _k - ETDRS	5,16	(-27,72;38,04)
FrACT _h – Landoltringtafel	-14,37	(-91,87;63,13)
FrACT _h - ETDRS	32,80	(-28,59;94,19)

Tabelle 19: Dargestellte Maßzahlen der Boxplots der absoluten Testdauer des 1. Testdurchganges [s]

	ETDRS 1.Testlauf	Landolttafel 1. Testlauf	FrACTk 1.Testlauf	FrACTh 1. Testlauf
Median	48,72	96,11	48,22	68,23
Minimum	29,09	21,96	36,63	49,38
Maximum	90,08	257,8	116,05	209,02
1. Quartil	37,38	72,91	40,82	64,32
3. Quartil	55,02	118,79	59,19	80,21
Untere Grenze Kerbe	43,05	81,37	42,39	63,13
Obere Grenze Kerbe	54,38	110,85	54,12	73,34
Unterer Whisker	29,09	21,96	36,63	49,83
Oberer Whisker	75,18	164,92	75,77	92,06

H.3 Durchschnittliche Testdauer pro Optotype

Tabelle 20: Dargestellte Maßzahlen der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype des 1. Testdurchganges [s]

	ETDRS 1.Testlauf	Landolttafel 1.Testlauf	FrACTk 1.Testlauf	FrACTh 1.Testlauf
Median	0,85	1,98	2,68	3,79
Minimum	0,54	1,08	2,04	2,74
Maximum	1,41	4,77	6,45	11,61
1. Quartil	0,74	1,75	2,27	3,57
3. Quartil	1,03	2,31	3,29	4,46
Untere Grenze Kerbe	0,76	1,80	2,35	3,51
Obere Grenze Kerbe	0,94	2,16	3,01	4,07
Unterer Whisker	0,54	1,14	2,04	2,74
Oberer Whisker	1,29	2,82	4,21	5,11

Tabelle 21: Maßzahlen aus dem Bland-Altman-Plot der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype [s] des 1. Testdurchganges des Landoltring- und ETDRS-Tests

Sehtestmethoden	Mittelwert der Differenzen	Übereinstimmungsgrenzen
Landoltringtafel - ETDRS	1,31	(-0,06;2,68)

H.4 Test-Retest Reliabilität der absoluten Testdauer

Tabelle 22: Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots der absoluten Testdauer [s] des 1. und 2. Testdurchganges

Sehtestmethoden	Mittelwert der Differenzen	Übereinstimmungsgrenzen
ETDRS	1,42	(-28,95;31,78)
Landoltringtafel	12,51	(-48,17;73,19)
FrACT _k	8,74	(-14,21;31,69)
FrACT _h	15,33	(-35,87;66,59)

H.5 Test-Retest Reliabilität der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype

Tabelle 23: Maßzahlen aus den Bland-Altman-Plots der durchschnittlichen Testdauer pro Optotype [s] des 1. und 2. Testdurchganges

Sehtestmethoden	Mittelwert der Differenzen	Übereinstimmungsgrenzen
ETDRS	0,05	(-0,43;0,54)
Landoltringtafel	0,21	(-1,12;1,54)
FrACT _k	0,49	(-0,79;1,76)
FrACT _h	0,85	(-1,99;3,70)

I Boxplots zur durchschnittlichen Antwortzeit auf die verschiedenen Antwortkategorien

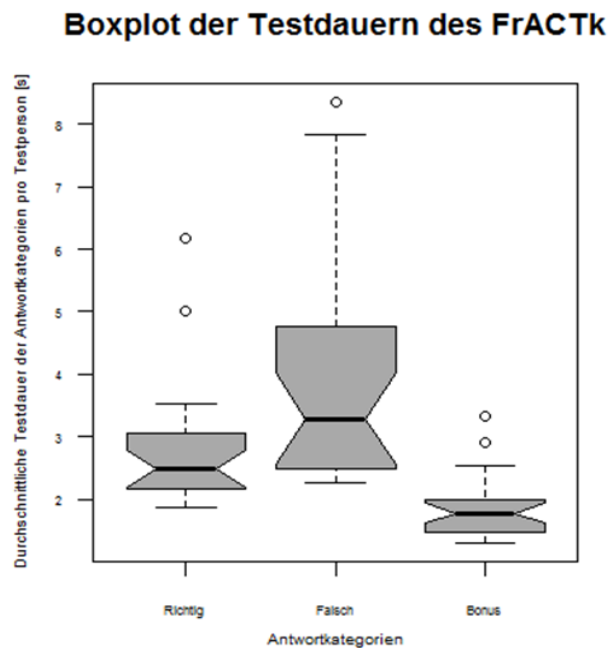


Abbildung 32: Boxplots zur durchschnittlichen Antwortzeit [s] des 1. Testdurchganges auf die verschiedenen Antwortkategorien des FrACT_k

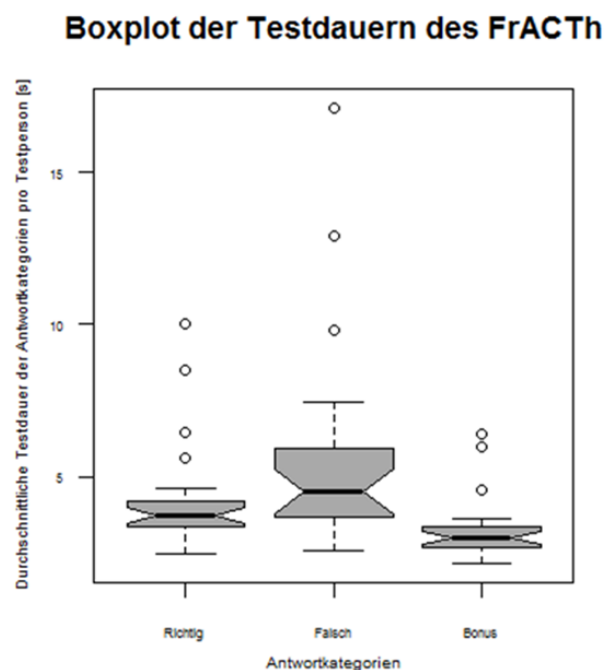


Abbildung 33: Boxplots zur durchschnittlichen Antwortzeit [s] des 1. Testdurchganges auf die verschiedenen Antwortkategorien des FrACT_h